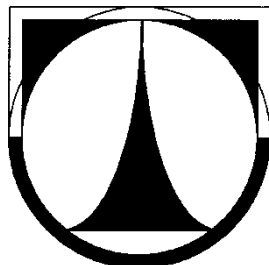


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



**VLIV OPRACOVÁNÍ PASTORKU PŘEVODOVKY MQ 200 NA
HLUK A VIBRACE**

**INFLUENCE OF MACHINING THE MQ 200 GEARBOX'S
PINION ON NOISE AND VIBRATIONS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Petr Brož

Květen 2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra vozidel a motorů



Obor B2341

Stroje a zařízení

Zaměření

Dopravní stroje a zařízení

VLIV OPRACOVÁNÍ PASTORKU PŘEVODOVKY MQ 200 NA

HLUK A VIBRACE

INFLUENCE OF MACHINING THE MQ 200 GEARBOX'S

PINION ON NOISE AND VIBRATIONS

Bakalářská práce

KVM – BP – 180

Petr Brož

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Elias Tomeh

Konzultant bakalářské práce: Milan Repš

Počet stran: 43

Počet obrázků: 20

Počet tabulek: 19

Počet příloh: 5

Květen 2010



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení

Petr B R O Ź

obor

B2341 Strojírenství

zaměření

**2301R022 stroje a zařízení
dopravní stroje a zařízení**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

VLIV OPRACOVÁNÍ PASTORKU PŘEVODOVKY MQ NA HLUK a VIBRACÍ

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

Studijní a experimentální práce v rámci SV, zaměřené na vliv technologie obrábění ložiskového průměru 32h5 pastorku na hluk a vibraci převodovky MQ 200.

- 1) Popište aktuální stav hlučnosti převodovky MQ 200 a používanou metodu pro měření vibrací a hluku včetně popisu zabíhacího stavu pro zkoušky převodovek MQ 200 a měření hlučnosti.
- 2) Popište způsob měření parametrů ložiskového průměru 32h5 pastorku, vyhodnocení a porovnání naměřených hodnot ložiskového průměru pastorku při různých způsobech obrábění. Popište technologie výroby pastorku (broušení, superfinišování,...).
- 3) proveďte rozbor dynamických poměrů náhonu stroje SAIMP a vypočítejte jeho hlavních zdrojů buzení.
- 4) Popište výrobní závady součástí převodovek MQ 200 (ložiska, ozubena kola) podle procesu montáže a způsobu snížení jejich hlučnosti začínající konstrukcí a končící výrobou. Vypočítejte frekvencí ložiska pastorku.
- 5) Analýza provedených měření, projev výrobních závad pastorku ve vibračních spektrech převodovky a návrh pro jejich odstranění z výroby, za účelem snižování hlučnosti převodovek.
- 6) Cílem BP je použitelnost výsledků v závodě Škoda Auto Mladá Boleslav.

Forma zpracování bakalářské práce:

Průvodní zpráva - v rozsahu cca 40 stran textu, vč. příloh.

Text celé bakalářské práce včetně příloh bude v elektronické formě přiložen na CD nosiči k tištěnému svazku originálu bakalářské práce.

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] Časopisy a katalogy firem.
- [2] **Šalamoun, Č. - Suchý, M. – Svoboda, J.:** Mechanické a hydraulické převody Díl I. Mechanické převody. ČVUT Praha.
- [3] **Jens Trampe Broch:** Mechanical vibration and shock measurements. Brüel a Kjaer, Denmark, 1984.
- [4] **Navrátil, M. - Pluhař, O.:** Měření a analýza mechanického kmitání. Metody a přístroje. SNTL Praha, 1986.
- [5] **Randall, R. B.:** Frequency analysis. Brüel a Kjaer, Naerum, 1987.
- [6] **Brüel a Kjaer:** Vibration Monitoring of Machines. Denmark 1987.
- [7] **Janoušek, I. a kol.:** Technická diagnostika. SNTL Praha, 1988.
- [8] **Tomeh, E.:** Diagnostic Methodology of Rolling Element and Journal Bearings. /Skripta TU v Liberci/, TUL Liberec, 2007.
- [9] Metodiky měření a manuály přístrojů.
- [10] Potřebné normy.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Elias Tomeh - KVM - TUL

Konzultant bakalářské práce: Milan Repš - Škoda Auto Mladá Boleslav



doc. Ing. Celestýn Scholz, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci dne 1. 11. 2009

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

VLIV OPRACOVÁNÍ PASTORKU PŘEVODOVKY MQ 200 NA HLUK A VIBRACE

Anotace

Studijní a experimentální práce v rámci SV, zaměřené na vliv technologie obrábění ložiskového průměru 32h5 pastorku na hluk a vibraci převodovky MQ 200.

Klíčová slova: vibrace, hluk, ložisko, pastorek, převodovka, broušení, superfinišování

INFLUENCE OF MACHINING THE MQ 200 GEARBOX'S PINION ON NOISE AND VIBRATIONS

Annotation

The study and experimental work in range of SP, focused on an influence of a machining practice the bearing pinion 32h5 on noise and vibration of a MQ200 gearbox

Key words: vibration, noise, bearing, pinion, gearbox, grinding, superfinishing

Zpracovatel:	TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů
Dokončeno :	2010
Archivní označení zprávy:	

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

19.05.2010

Podpis

Břof

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Eliasu Tomehovi za odborné vedení, pomoc při měřeních, vyhodnocení zpracování práce a poskytnutí cenných rad. Dále bych také poděkoval konzultantovi p. Milanovi Repšovi a pracovníkům oddělení GQH, VAT za pomoc při organizaci jednotlivých měření, poskytnutí užitečných materiálů a zkušeností z oblasti výroby převodovek.

Seznam symbolů a jednotek

L_A	hladina zvukového tlaku	[dB]
f_i	frekvence vad vnitřního kroužku	[Hz]
f_r	relativní frekvence otáčení	[Hz]
f_R	rotorová frekvence	[Hz]
f_z	zubová frekvence	[Hz]
f_{zs}	zubová frekvence stálého převodu	[Hz]
f_{Lk}	frekvence klece ložiska	[Hz]
f_{Li}	frekvence ložiska vnitřního kroužku	[Hz]
f_{Lo}	frekvence ložiska vnějšího kroužku	[Hz]
f_{Lv}	frekvence ložiska valivých těles	[Hz]
a_0	amplituda zrychlení	[mms ⁻²]
a_{0fz}	amplituda zubové frekvence	[mms ⁻²]
a_{0fzSP}	amplituda zubové frekvence stálého převodu	[mms ⁻²]
a_{ef}	efektivní hodnota zrychlení vibrací	[G _s]
v_{ef}	efektivní hodnota rychlosti	[mms ⁻¹]
ϵ_α	součinitel záběru profilu	
ϵ_β	součinitel záběru kroku	
$f_{H\beta}$	úchylka sklonu zubů	[mm]
LVG, LVD	označení převodovek	
02T	pětistupňová převodovka	
RPM, n	otáčky	[ot/min]
SK1	synchronní kanál vstupního hřídele převodovky	
SK2	synchronní kanál pastorku převodovky	
SK3	synchronní kanál klece diferenciálu	
IO	dobrá převodovka	
NIO	chybná převodovka	
Mkd2	kontrolně dotahovací moment (po dynamickém resp. tepelném zatížení)	[Nm]

Obsah

1	Úvod	9
2	Převodovky automobilů a vnitřní hluk ve vozidle	10
2.1	Hluk, zvuk, vibrace	10
2.2	Převodovky osobních automobilů	10
2.3	Převodovka MQ 200	11
3	Popis zabíhacího stavu pro zkoušky převodovek MQ 200	12
3.1	Uspořádání a druhy provozu zkušební stanice	13
3.2	Průběh zkoušky převodovky v zabíhací stanici	14
3.3	Opravy převodovek vyřazených na hlučnost pastorku $\varnothing 32h5$	15
3.4	Metoda měření vibrací a hluku na zkušební stanici	16
3.5	Měření a výpočet frekvencí pastorku	18
4	Výroba, montáž a měření pastorku převodovky MQ 200	21
4.1	Postup výroby pastorku	22
4.2	Popis technologií výroby pastorku	23
4.3	Kontrola ložiskového $\varnothing 32h5$ pastorku převodovky MQ 200	29
4.3.1	Porovnání naměřených hodnot obou způsobů obrábění	29
5	Rozbor dynamických poměrů náhonu stroje SAIMP	30
5.1	Výpočet hlavních zdrojů buzení	31
6	Výrobní závady součástí převodovek MQ 200	32
6.1	Závady způsobené procesem montáže s vlivem na hlučnost	32
6.2	Možnosti snížení hluku převodovek MQ 200	34
6.2.1	Snižování hlučnosti ve výrobě	34
6.2.2	Snižování hlučnosti v konstrukci	35
6.3	Výpočet frekvencí ložisek	36
7	Analýza provedených měření	38
7.1	Projev výrobních závad pastorku a návrh k jejich odstranění	40
8	Závěr	41
	Seznam použité literatury	43

1 Úvod

Jedním z možných zdrojů hluku vozidla je hnací ústrojí, jehož součástí je i převodovka. Moderním nástrojem pro způsob identifikace mechanických závad, které mají vliv na kvalitu výroby, montáž a celkovou hlučnost automobilových převodovek MQ 200 jsou analýzy frekvenčních spekter vibrací a různé metody a prostředky měření. Způsob analýzy spekter vibrací je prováděn s použitím metody frekvenční analýzy a prostředků technické diagnostiky, díky nimž je sledován vliv ozubených soukolí a valivých ložisek v poměrně složité převodové skříni. Převodovky MQ 200 vyráběné ve firmě Škoda Auto jsou kvalitativně kontrolovány na zkušebních stavech, které vyhodnocují úroveň vibrací a hluku. Sériová výroba byla zde zahájena počátkem roku 2000. Hodnocení převodovek je prováděno dvěma průběhy zvukových signálů. Jsou hodnocena řádová spektra na překročení hraničních hodnot a analyzován průběh signálu v závislosti na otáčkách daného řádu. Pro oba druhy hodnocení jsou stanoveny hraniční křivky, přes které naměřené hodnoty nesmí přesáhnout. Některé součásti, jako například hřídele, skříň a ozubená kola jsou vyráběna v mateřském závodě, ostatní díly jako diferenciál, ložiska, řadicí ústrojí a jiné komponenty jsou dodávány externími firmami. Ozubená kola a hřídele včetně pastorku tj. hnaného hřídele jsou vyráběna v hale M2, skříňové díly a synchronizace včetně montáže kompletu převodovky je prováděna v hale M6. Tato práce popisuje rozdíl výsledné hlučnosti zabudovaného pastorku v převodovce vlivem různého způsobu obrábění pastorku ložiskového průměru 32h5, jeho výrobu a měření. Ložisko je na průměr 32h5 montováno bez vnitřního kroužku, takže válcový čep slouží jako vnitřní valivá plocha ložiska. Obrábění pastorku popisovaného průměru je prováděno na brousících strojích SAIMP (viz kap. 4.2). Další způsob opracování - superfinišováním je prováděno na zahlazovacím stroji SUPFINA (viz kap. 4.2). Průměr 32h5 byl nejprve na brousícím stroji broušen a v měrovém středisku rozměrově kontrolován. Poté zastavěn do převodovky typu LVG. Na zabíhací stoličce a pomocí měřicího přístroje – analyzátoru vibrací byla hodnocena hlučnost převodovky s takto opracovaným pastorkem. V dalším kroku následovala demontáž pastorku z převodovky, na superfinišovacím stroji proběhlo superfinišování, měření, opětovné zastavění pastorku do převodovky a další hodnocení hlučnosti převodovky.

2 Převodovky automobilů a vnitřní hluk ve vozidle

Hluk ve vozidle může způsobovat jak nežádoucí rušení řidiče tak přepravovaných osob a zhoršuje vzájemnou komunikaci mezi nimi. Kromě toho je také zatěžována nervová soustava řidiče a oslabena jeho pozornost, čímž se zhoršuje přesnost jeho reakcí na aktuální změny včetně příjmu informací potřebných k řízení vozidla. Z tohoto důvodu může být negativně ovlivněna bezpečnost všech účastníků silničního provozu. Vnitřní hluk ve vozidle tvoří také důležitou složku atraktivity vozidla pro případného kupce, protože snadná hovorová komunikace mezi přepravovanými osobami, dobrý poslech hudby a zvukových signálů je dnes již u vozidel všech kategorií nezbytností. Proto z hlediska legislativy i prodeje je pro výrobce vozidel nutné docílit nízké úrovně vnitřního hluku.

2.1 Hluk, zvuk, vibrace

Hluk je každý nežádoucí zvuk, který vyvolává nepříjemný nebo rušivý vjem. Dlouhodobé působení hluku na lidský organismus může způsobit trvalé poruchy sluchu nebo ovlivnit nervový systém poruchami zdraví. Zvuk je vjem sluchového orgánu, jehož objektivní příčinou je zvukové (akustické) vlnění. Jiná definice říká, že zvuk je mechanické kmitání v pružném prostředí (mimo vakua) v slyšitelném pásmu 20 - 20000 Hz. Měří se mikrofonom a vnímá se sluchovým orgánem, jako změna akustického tlaku v (Pa). Vibrace je kmitání (oscilace) mechanické soustavy, které představují pohyb pružného tělesa, jehož jednotlivé body kmitají kolem své rovnovážné polohy. Mezi hlavní příčiny vibrací patří mechanické síly, jež jsou způsobeny nedokonalým opracováním částí a součástí strojních zařízení. Tyto nepřesnosti jsou při činnosti zařízení příčinou dynamických sil, které vznikají vlivem tření a záběru ozubených kol.

2.2 Převodovky osobních automobilů

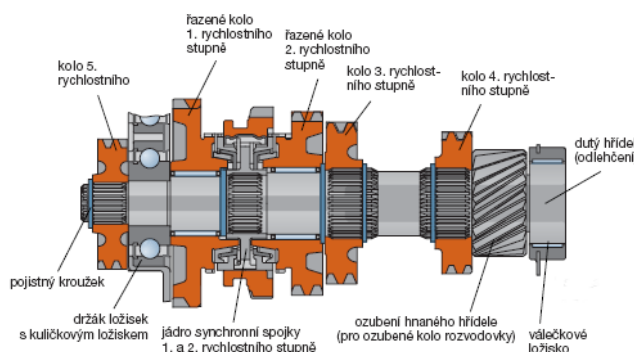
slouží ke změně, především k zvětšování přenášeného kroutícího momentu a jeho dlouhodobého přerušení (neutrál), ale také k změně jeho smyslu (zpětný chod – couvání). Toho se dosahuje pomocí převodů tj. ústrojím, které stupňovitě nebo plynule umožňuje změnu rychlostního poměru. Stupňovité převodovky mohou být buď převodovky s ozubenými čelními koly nebo převodovky s ozubenými koly planetovými. Při změnách jednotlivých rychlostních stupňů se z důvodu vypnutí

spojky vždy přeruší přenos hnacího momentu. To má nevýhodu v jízdě do kopce, především u nákladních automobilů. Plynulé převodovky umožňují plynulou změnu točivého momentu automaticky. Pro tento způsob se používají zejména samočinné převodovky s hydrodynamickým měničem, přičemž lamelové spojky umožňují řazení bez přerušení přenosu hnacího momentu. Jejich řazení téměř odpadá, volí se pouze režim jízdy. V závislosti na měnících se otáčkách výkon motoru klesá, proto je třeba zařadit nižší rychlostní stupeň, aby se opět dosáhlo vysokých otáček a tím plného výkonu motoru, který stačí k překonání zvýšených jízdních odporů.

2.3 Převodovka MQ 200

Pětistupňová převodovka je montována do vozů Fabia, Octavia, Roomster, Polo, Audi a určena pro přenášení kroutícího momentu max. 200 Nm. Jde se o mimořádně lehkou převodovku se dvěma hřídeli. Řazení je lankové a ovládání spojky hydraulické. Při stejnoměrné jízdě na 5. převodový stupeň se dosahuje nejnižší spotřeby paliva. Skříň je zhotovena z hliníkové slitiny. Má dva hlavní hřídele a hřídel, na kterém je kolo zpětného chodu. Ozubená kola na hnacím a hnaném hřídeli jsou se šikmým ozubením a jsou v trvalém záběru. Kola všech rychlostních stupňů kromě zpátečky jsou uložena na jehlových ložiskách, což zaručuje tichý chod a lehké řazení rychlostních stupňů. Kolo zpětného chodu má ozubení s přímými zuby. Řazená kola 1. a 2. rychlostního stupně jsou na hnaném hřídeli a řazená kola 3., 4. a 5. rychlostního stupně jsou na hnacím hřídeli. Kolo zpětného chodu je umístěno na samostatném hřídeli mezi hnací a hnaný hřídel. Tím se změní směr otáčení hnacího hřídele. Všechny rychlostní stupně řazené vpřed jsou synchronizované. Rychlostní stupně 1. a 2. mají synchronizaci dvojnásobnou. Kroutící moment se přenáší přes ozubení hnaného hřídele na ozubené kolo rozvodovky a tím na diferenciál. Hnací hřídel je uložen ve skříni spojky ve válečkovém ložisku (volné uložení) a v držáku ložisek v kuličkovém ložisku (pevné uložení). Aby se hmotnost hnacího hřídele snížila, je v jeho ose vyvrtaná slepá díra. Ozubení pro kolo 1. a 2. rychlostního stupně a ozubení pro kolo zpětného chodu jsou vytvořena přímo na hnacím hřídeli. Řazená kola 3., 4. a 5. rychlostního stupně jsou volná a jsou uložena na jehlových ložiskách. Jádru synchronní spojky 3. a 4. rychlostního stupně a jádru synchronní spojky 5. rychlostního stupně jsou s hnacím hřídelem pevně spojena drážkováním. Jakmile je zařazen rychlostní stupeň, bude s hnacím hřídelem spojeno i příslušné

řazené kolo. Hnaný hřídel (pastorek) je uložen na jednom konci pevně, na druhém volně. Je ve skříni převodovky uložen obdobně jako hnací hřídel ve válečkovém ložisku, které je ve skříni spojky (volně) a v kuličkovém ložisku, které je v držáku ložisek (pevně). Hnaný hřídel je také odlehčen - je dutý. Řazená kola 3., 4. a 5. rychlostního stupně a jádro synchronní spojky 1. a 2. rychlostního stupně jsou s hnaným hřídelem spojena pomocí drážkování. Ve svých polohách jsou zajištěna pojistnými kroužky.



Obr. 1 Hnaný hřídel

Dříve než dojde pomocí jádra synchronní spojky a přesuvné objímky k zařazení ozubeného kola na hnacím hřídeli do ozubeného kola na hnaném hřídeli, je třeba přivést obě kola do stejných otáček = synchronizovat je. Synchronizace se provádí v průběhu řazení pomocí kužele na ozubeném kole a synchronním kroužku. Komfort řazení z 3. na 2. rychlostní stupeň a z 2. na 1. rychlostní stupeň se zvýší pomocí zdvojených synchronních kroužků. Diferenciál tvoří s převodovkou jednu součást. Je uložen ve dvou optimalizovaných kuželíkových ložiskách. Jedno je nalisováno ve skříni převodovky, druhé ve skříni spojky. Kroutící moment motoru se do převodovky přivádí hnacím hřídelem. Z hnacího hřídele se přenáší příslušnou dvojicí ozubených kol (podle zařazeného rychlostního stupně) na hnaný hřídel a z něj přes ozubené kolo rozvodovky na diferenciál. Na hnací kola pak působí kroutící moment a otáčky podle toho, jaký rychlostní stupeň je zařazen. Aby se zabránilo přenosu vibrací a kmitání z agregátu, je převodovka opatřena lankovým řazením. Řadicí páka (ve voze) je s převodovkou propojena dvěma lanky.

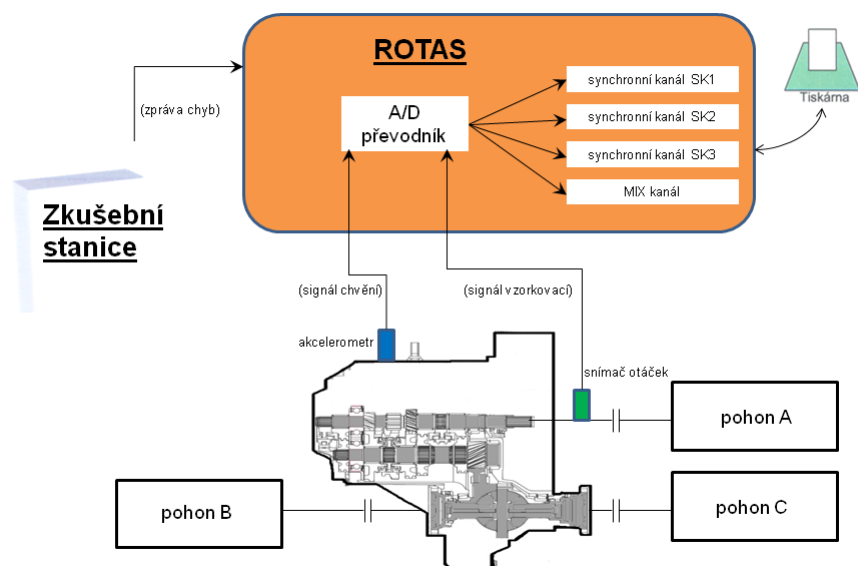
3 Popis zabíhacího stavu pro zkoušky převodovek MQ 200

Zkušební stanice (zabíhací stav) převodovek slouží ke zkoušení převodovek konstrukčního provedení MQ 200, pro varianty s různými převody (např. LVD , LVG)

a možností změn parametrů pro nové typy převodovek, dle příslušných motorizací. Je poslední operací výrobní linky, kde se kontroluje každá vyrobená převodovka se zaměřením na hlučnost. Výsledkem zkoušky je vyhodnocení zda je výrobek IO, či NIO. V případě IO jsou převodovky dále expedovány do mateřského závodu na montážní linku Fabie, pobočných závodů Škoda a závodů koncernu VW. Pokud je převodovka vyhodnocena jako NIO, je označena lístkem „Díl pozastaven“, z výrobní linky je vyřazena a na repasním pracovišti demontována. Rozebírá se celá převodovka, špatné díly se demontují a dobré jsou vráceny do jednotlivých výrobních středisek k přezkoušení. Veškerá data k jednotlivým převodovkám (momenty, den, typ, lisovací síly atd.) jsou z důvodu případných reklamací archivována. Archivace je prováděna zvlášť jak pro montážní data výrobních linek tak data ze zkoušek hlučnosti. Data z 5000 převodovek představuje okolo 20 MBite.

3.1 Uspořádání a druhy provozu zkušební stanice

Skládá se z masivního základního podstavce, na němž je umístěna celá mechanická a elektrická část (pohony s měřicími systémy, čidla a další). Vedle podstavce jsou umístěny oddělené stojany jednotek s ovládacími prvky pro obsluhu, zobrazení a hlukovou analýzu.



Obr. 2 Zjednodušené schéma zkušební stanice

Pro zkoušky převodovek se používají tři hnací (brzdící agregáty). Regulačním zařízením se nastavují požadované provozní podmínky tak, že se dle programů mění počet otáček a kroutící moment. Kontrola zkušební stanice (počty otáček, točivé

momenty) a kontrola převodových poměrů se provádí pomocí digitální regulace, akustická kontrola se provádí pomocí hlukové analýzy. Dále se provádí kontrola snímače tachometru a spínače zpětného chodu. Ostatní kontroly zkoušených převodovek provádí pracovník obsluhy. Stroje mohou pracovat v celé oblasti otáček střídavě jako pohon nebo generátor (brzda). Zkušební stanice může pracovat ve třech druzích provozu:

1. Automatika

představuje normální formu provozu zařízení, při kterém je možný automatický i manuální zkušební provoz. V automatickém zkušebním provozu se provede zkouška jednotlivých převodových stupňů dle zvoleného druhu převodovky s hodnotami danými pro daný převodový stupeň a druh převodovky. V manuálním provozu lze měnit rychlost tlačítka „zvýšit“ a „snížit“ na ovládacím panelu.

2. Nastavování

Tento druh provozu se používá při poruchách nebo seřizovacích pracích, kdy pracovníku obsluhy je umožněn veškerý dílčí pohyb válců resp. strojů a os. Zkoušení převodovek v tomto režimu není možné.

3. Start VYP

Aktivuje se po zapnutí zkušební stanice nebo stiskem tlačítka „Start VYP“ na ovládacím panelu. Při tomto druhu provozu nejsou možné žádné pohyby válců resp. strojů.

3.2 Průběh zkoušky převodovky v zabíhací stanici

Jakmile je převodovka řádně ustavena a zapojena (pracovník musí připojit kabely pro snímače tachometru a zpětného chodu, řadicí páku), může se zahájit vlastní zkouška. V průběhu automatického cyklu dojde pomocí systému ROTAS ke zkoušce hlučnosti převodovky, řídící systém stavu kontroluje převodový poměr, funkci diferenciálu, spínač zpětných světel a snímač tachometru. Obsluha v průběhu zkoušky kontroluje komfort řazení, přítomnost synchronních kroužků a subjektivně rovněž hlučnost převodovky. Každá zkouška převodového stupně se může libovolně vícekrát zopakovat. Tlačítkem „Převodovka se závadami“ se může zkouška kdykoliv přerušit, pokud zkušební stanice např. zjistí nesprávný převod některého převodového stupně. Aby bylo možné ukončit zkoušku tlačítkem „Převodovka bez závad“ musí být všechny převodové stupně kompletně vyzkoušené a být v pořádku.

Pokud se zkouška převodovky přeruší nebo ukončí s výsledkem „Převodovka se závadami“, zapíší se všechny zjištěné chyby do zkušebního protokolu. Převodovky vyřazené ze zabíhacího stavu se závadami se označí závěskou „Díl pozastaven“ a montážní paleta se přesune na další operaci, na které se další montáže nebudou provádět. Obsluha má možnost vymazat chyby ve zkušebním protokolu a v případě odstranění veškerých chyb je převodovka vyhodnocena a zapsána jako „Převodovka bez závad“. Pracovník rovněž může ke zkušebnímu protokolu připojit další chyby ze seznamu chyb, který je k dispozici. To je možné manuálním zadáním příslušného čísla chyby. Na zkušební stanici se k vyhodnocení převodovky se závadami rozlišují tři druhy chyb. Chyby, které se rozpoznají systémem Simadyn, chyby, které se rozpoznají hlukovou analýzou a chyby, které zjistí pracovník obsluhy a které sám ručně zapíše do zkušebního protokolu (vizuální poškození - závity unašeče, poškození broušené plochy, další závady hluku). Veškeré chyby jsou uvedeny ve zkušebním protokolu, který může obsahovat maximálně 15 chyb.

MQ200-6 Typ LVL [3459] No. 3584-100119 19.Jan'2010,00:59:37 chybní ***									
Cod	text	Stup	je	mez	s.h	J	O/Tp	Kx	
3	Poškození 2. Chod	2-B	14.8/	12.0/	5.5		Crest	První	
3	Poškození 2. Chod	2-B	11.5/	10.0/	3.4	g	Peak	První	
11	Zvuk ve 2. chodu	2-B	93.9/	93.0/	75.9	dBg	50.00	První	
11	Zvuk ve 2. chodu	2-B	96.3/	95.8/	75.8	dBg	48.00	První	
11	Zvuk ve 2. chodu	2-B	94.4/	92.2/	73.6	dBg	46.00	První	
11	Zvuk ve 2. chodu	2-B	90.6/	89.7/	73.9	dBg	42.00	První	
MQ200-6 Typ LVL [3459] No. 3588-100119 19.Jan'2010,01:03:25 chybní ***									
Cod	text	Stup	je	mez	s.h	J	O/Tp	Kx	
5	Poškození 4. Chod	4-B	12.8/	12.0/	5.3		Crest	Dif.p	
MQ200-6 Typ LVL [3459] No. 3588-100119 19.Jan'2010,01:05:19 chybní ***									
Cod	text	Stup	je	mez	s.h	J	O/Tp	Kx	
5	Poškození 4. Chod	4-B	13.4/	12.0/	5.3		Crest	Dif.p	
6	Poškození 5. Chod	5-B	11.9/	10.0/	5.9	g	Peak	Dif.po	

Obr. 3 Ukázka zkušebního protokolu

3.3 Opravy převodovek vyřazených na hlučnost pastorku ø 32h5

Tyto opravy mohou provádět pouze zaškolení pracovníci na pracovišti demontáže převodovky. Oprava pastorku ø32h5 se provádí lapováním dle následného postupu: Převodovka se v otočném stojanu upne a natočí skříní spojky vzhůru, utahovačkou se demontuje šroub pravého unašeče, šrouby dělicí roviny a unašeč se odebere. Uvolní se skříní spojky a odebere z převodovky. Do převodové skříně se vloží

přípravek proti zapadnutí nečistot a na $\varnothing 32h5$ se nasune ochranný kroužek. Pomocí přípravku zasunutého v planetě diferenciálu se otáčí soukolím a pomocí lapovací pásky ručně přitlačené na průměr pastorku se lapuje celá broušená plocha po dobu cca jedné minuty. Po dokončení lapování se broušená plocha ošetří sprejem a očistí speciální utěrkou (jelenicí). Nakonec se stáhne ochranný kroužek a odebere přípravek proti zapadnutí nečistot. Poté je opět převodovka smontována a na zkušební stanici vyhodnocena na hlučnost.

3.4 Metoda měření vibrací a hluku na zkušební stanici

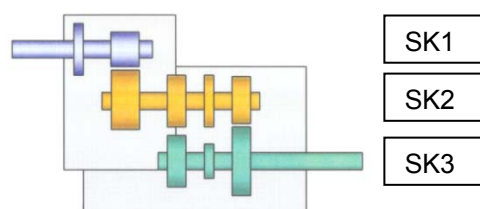
Pro měření vibrací a hluku na zkušební stanici se používá snímač chvění tzv. akcelerometr od firmy B&K měřící zrychlení, který je v průběhu zkoušky dotlačován k stěně převodovky. Pohyb měřený snímačem zrychlení je vlastně síla působící na setrvačnou hmotu převedená na elektrické veličiny a A/D převodníkem konvertována na číslo.



Obr. 4 Zkušební stanice převodovek se snímači

Pro měření je použita otáčkově synchronní analýza, kdy je signál zachycen synchronně s otáčkami vstupního hřídele. V převodovkové databance jsou pro různé typy převodovek uloženy převodové poměry a počty zubů jednotlivých ozubených kol. Z těchto údajů se pak v signálním podílu určují složky patřící buzení kteréhokoli hřídele převodovky. Vždy se vytvoří tři takovéto signální kanály závislé na otáčkách a jako čtvrtý se analyzuje celkový signál tzv. MIX kanál. Z jednotlivých signálních kanálů se identifikují hluky a vibrace. Na převodovce jsou postupně zkoušeny všechny převodové stupně a každý stupeň je zkoušen ve dvou režimech. V prvním

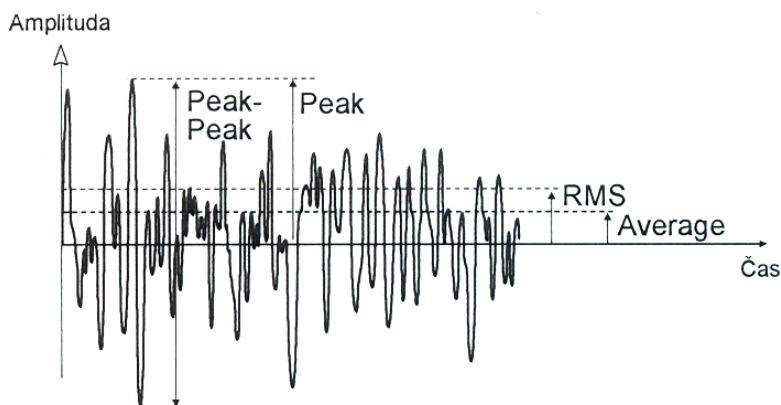
režimu pro akceleraci se otáčky převodovky zvyšují a pohon A pracuje jako motor, pohony B a C pracují jako brzdy (obr. 2). V druhém režimu se otáčky převodovky snižují, pohon A pracuje jako brzda a pohony B, C jako motory (jízda z kopce). Pro jednotlivé rychlostní stupně jsou stanoveny min. a max. otáčky k provedení akustické zkoušky. Vyhodnocení naměřených dat je prováděno programem ROTAS od německé firmy DISCOM. Program ROTAS dostává přes sériové rozhraní informace o typu zkoušené převodovky a spínacím stavu aktuální zkušební fáze. Od zkušebního objektu odebírá program zvukový signál a počet otáček hnacího hřídele. ROTAS rozděluje senzorem snímaný zvuk k jednotlivým komponentům převodovky.



Obr. 5 Komponenty převodovky s kanály SK

Převodovky jsou hodnoceny pomocí dvou průběhů zvukových signálů. Hodnotí se pomocí řádové analýzy na překročení hraničních hodnot a analyzuje se průběh signálu v závislosti na otáčkách pro daný řád. Cílem těchto dvou postupů je získat optimální měřicí hodnoty k charakteristice převodkovových chyb. Otáčkově synchronní kanály jsou přiřazeny hřídelům v převodovce a zachycují chvění související s otáčkami SK1 – vstupního hřídele převodovky, SK2 – pastorku převodovky, SK3 – diferenciálu. MIX kanál zachytí celkový signál (veškeré vibrace převodovky) proto, aby zaznamenal zvukový podíl v konstrukčních součástech jako např. ložiska nebo ozubená kola. Signální komponenty sledovaného hřídele jsou zesíleny, komponenty jiných hřídelů oslabeny. Poškození jsou ukazována v synchronním kanálu, který je synchronizován na poškozený hřídel. Pokud se hlučnost vyskytuje v synchronních kanálech, jedná se o chyby ozubení, pokud ne, jedná se o chyby ložisek. Pokud jsou chyby v ozubení, určuje se, kde se chyba nachází (kanály SK1, SK2, SK3), při jakém způsobu jízdy k ní dojde (akcelerace, jízda z kopce) a v jaké rychlosti. V MIX kanálu se sledují chyby způsobené ložisky. Pokud se frekvenční poloha chyby nemění v závislosti na převodovém stupni,

vyskytuje se chyba na vstupním hřídeli. V opačném případě, kdy se frekvenční poloha chyby mění, vyskytuje se chyba na pastorku nebo hnaném kole rozvodovky. Dodatečně se stanoví další hodnotící faktory jako špičková hodnota (Peak), efektivní hodnota (RMS) a Crestfaktor (Crest), které umožní najít další defekty. Obzvláště citlivý je Crestfaktor, který se počítá jako vztah mezi špičkovou hodnotou a efektivní hodnotou. Peak a RMS hodnoty jsou jakožto absolutní velikosti závislé na zvuku zkoušené převodovky.



Obr. 6 Spektrum hodnot Peak, RMS a střední hodnota

Pro jednotlivá spektra má ROTAS hraniční křivky. Jestliže překročí spektrum na určitém místě hraniční křivku, svědčí místo překročení o poruše. Pro každý typ převodovky existují samostatné hraniční hodnoty a hraniční křivky. Hlavním zdrojem hluku jsou především ozubená kola, resp. záběr jednotlivých zubů. V jednotlivých spektrech signálních podílů se zubová záběrová frekvence zřetelně projeví. Hraniční křivky a hraniční hodnoty se vytváří automaticky prostřednictvím samoučícího se procesu a skrze databanku parametrů je možné je ohraničit. Pro učící proces se používá nastavený počet převodovek, které jsou v pořádku.

3.5 Měření a výpočet frekvencí pastorku

Pro výpočet frekvencí pastorku byla použita převodovka s označením LVG. Na zabíhací stanici se pro každý rychlostní stupeň nastavily vstupní otáčky hřídele a na analyzátoru vibrací se pro tyto otáčky zaznamenala měřená data. Data měřená analyzátozem MICROLOG CMV A65 byla snímána pomocí snímače vibrací od firmy SKF, který byl přišroubován na připevněný držák ke skříni převodovky (obr. 4). Měření bylo provedeno v režimu převodovky pro TAH i ZPĚT v frekvenční i obálkové analýze, nejprve pro broušený pastorek dne 25.3.2010 a následně pro

superfinišovaný pastorek dne 15.4.2010. Aby bylo možné jednotlivé frekvence počítat, je nutné znát údaje zabudovaných součástí uvedené v tab. 1 a otáčky vstupního hřídele nastavené na zabíhací stolici.

Rychlostní stupeň	Počet zubů		
	Vstupního hřídele zI_i	Výstupního hřídele zII_i	Hřídel diferenciálu $zIII_i$
1	13	49	-
2	21	44	-
3	31	43	-
4	39	40	-
5	47	40	-
Stálý převod	-	16	67

Tab. 1 Počty zubů převodovky s označením LVG

Použité vzorce ve výpočtech:

Rotorová frekvence vstupního hřídele

Rotorová frekvence výstupního hřídele

$$f_{RI_i} = \frac{n}{60} \quad (Hz)$$

$$f_{RII_i} = f_{RI_i} \cdot \frac{zI_i}{zII_i} \quad (Hz)$$

Rotorová frekvence diferenciálu

Zubová frekvence a frekvence stálého převodu

$$f_{RIII_i} = f_{RII_i} \cdot \frac{zII_i}{zIII_i} \quad (Hz)$$

$$f_{zi} = f_{RI_i} \cdot zI_i = f_{RII_i} \cdot zII_i, f_{zsi} = f_{RII_i} \cdot zII_i \quad (Hz)$$

Měření a výpočet frekvencí pro broušený pastorek ze dne 25.3.2010

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele f_{RI} [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele f_{RII} [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu f_{RIII} [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	4006	66,767	17,714	4,230	867,967	283,418
2	4011	66,850	31,906	7,619	1403,850	510,491
3	4009	66,817	41,170	11,503	2071,317	770,722
4	3799	63,317	61,734	14,742	2469,350	987,740
5	3809	63,483	74,593	17,813	2983,717	1193,487

Tab. 2 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – broušení pastorek – Frekvenční TAH

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele f_{RI} [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele f_{RII} [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu f_{RIII} [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3994	66,567	17,661	4,217	865,367	282,569
2	3995	66,583	31,778	7,589	1398,250	508,455
3	3995	66,583	48,002	11,463	2064,083	768,031
4	3804	63,400	61,815	14,762	2472,600	989,040
5	3802	63,367	74,456	17,780	2978,233	1191,293

Tab. 3 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – broušení pastorek – Frekvenční ZPĚT

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele $f_R I$ [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele $f_R II$ [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu $f_R III$ [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	4003	66,717	17,700	4,227	867,317	283,205
2	4005	66,750	31,858	7,608	1401,750	509,727
3	4014	66,900	48,230	11,518	2073,900	771,684
4	3976	66,267	64,610	15,429	2584,400	1033,760
5	3960	66,000	77,550	18,519	3102,000	1240,800

Tab. 4 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – broušení pastorek – Obálková TAH

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele $f_R I$ [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele $f_R II$ [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu $f_R III$ [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3994	66,567	17,661	4,217	865,367	282,569
2	3995	66,583	31,778	7,589	1398,250	508,455
3	3995	66,583	48,002	11,463	2064,083	768,031
4	3804	63,400	61,815	14,762	2472,600	989,040
5	3802	63,367	74,456	17,780	2978,233	1191,293

Tab. 5 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – broušení pastorek – Obálková ZPĚT

Měření a výpočet frekvencí pro superfinišovaný pastorek ze dne 15.4.2010

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele f_{RI} [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele f_{RII} [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu f_{RIII} [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3997	66,617	17,674	4,221	866,017	282,781
2	4004	66,733	31,850	7,606	1401,400	509,600
3	3997	66,617	48,026	11,469	2065,117	768,416
4	3796	63,267	61,685	14,731	2467,400	986,960
5	3809	63,483	74,593	17,813	2983,717	1193,487

Tab. 6 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – superfinišovaný pastorek – Frekvenční TAH

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele $f_R I$ [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele $f_R II$ [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu $f_R III$ [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3994	66,567	17,661	4,217	865,367	282,569
2	3997	66,617	31,794	7,593	1398,950	508,709
3	3995	66,583	48,002	11,463	2064,083	768,031
4	3796	63,267	61,685	14,731	2467,400	986,960
5	3795	63,250	74,319	17,748	2972,750	1189,100

Tab. 7 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – superfinišovaný pastorek – Frekvenční ZPĚT

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele $f_R I$ [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele $f_R II$ [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu $f_R III$ [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3997	66,617	17,674	4,221	866,017	282,781
2	4004	66,733	31,850	7,606	1401,400	509,600
3	3997	66,617	48,026	11,469	2065,117	768,416
4	3796	63,267	61,685	14,731	2467,400	986,960
5	3809	63,483	74,593	17,813	2983,717	1193,487

Tab. 8 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – superfinišovaný pastorek – Obálková TAH

Rychlostní stupeň	Otáčky vstupní hřídele 1/min	Rotorová frekvence vstupní hřídele $f_R I$ [Hz]	Rotorová frekvence výstupní hřídele $f_R II$ [Hz]	Rotorová frekvence hřídele diferenciálu $f_R III$ [Hz]	Zubová frekvence f_z [Hz]	Zubová frekvence stálého převodu f_{zs} [Hz]
1	3994	66,567	17,661	4,217	865,367	282,569
2	3997	66,617	31,794	7,593	1398,950	508,709
3	3995	66,583	48,002	11,463	2064,083	768,031
4	3796	63,267	61,685	14,731	2467,400	986,960
5	3795	63,250	74,319	17,748	2972,750	1189,100

Tab. 9 Rotorové a zubové frekvence převodovky LVG – superfinišovaný pastorek – Obálková ZPĚT

Z analyzátoru vibrací byla do PC pro jednotlivé rychlosti, TAH i ZPĚT stažena vibrační spektra, která byla analyzována pomocí frekvenční analýzy a z nich stanoveny amplitudy pro rotorové, zubové frekvence a další významné frekvence (příloha č. 1. a 2.).

4 Výroba, montáž a měření pastorku převodovky MQ 200

Pastorek $\varnothing 32h5$ je kompletně vyráběn v závodě Škoda. Výroba začíná v hutích haly H2, kde se z tyčové oceli nastříhají jednotlivé kusy, které se pak tepelně válcují na polotovary. Tento polotovar se pak následně zušlechťuje v linkách tepelného zpracování. Další opracování výkovku (polotovaru) je prováděno v ozubárně haly M2 dle výrobního postupu rozděleného na jednotlivé operace (viz kapitola 4.1). Dále jsou pastorky expedovány do haly M6. Nejdříve probíhá předmontáž hnacího hřídele a pastorku zabudováním koleček, pojistných kroužků, synchronních spojek a ložisek. Obě kompletní sestavy jsou dále převezeny na tzv. „malou linku“, kde se hřídele zalisují do sestavy ložisek a komplet do skříně převodovky. Zde také probíhá kamerová kontrola kompletnosti pastorku a hnacího hřídele. Převodovka je následně převěšena na montážní linku pro zabudování ostatních dílů MQ 200. V montážní

lince jsou dále do skříně spojky v automatickém cyklu hydraulického lisu nejprve zalisována ložiska včetně středících pouzder. V dalším kroku následuje montáž druhé části (skříně převodovky) tak, že dojde k nasunutí ložisek na broušený průměr pastorku, hnací hřídel a vystředění obou skříní přes středící pouzdra.

4.1 Postup výroby pastorku

- Na stroji pro zarovnání jsou oboustranně ofrézovány čelní plochy výkovku na rozměr $242,8 - 0,1$ a část plochy pro ozubení na rozměr $48,90 \pm 0,2$. Dále jsou z pravé a levé strany navrtány středící důlky.
- CNC soustruhem jsou postupně soustruženy jednotlivé válcové průměry pastorku, čelní strany ozubeného věnce s přídavkem, jsou provedeny zápichy, úkosy s přídavkem a sraženy hrany. $\emptyset 32h5$ je soustružen na rozměr $\emptyset 32,3h9$.
- Frézku je frézováno ozubení s přídavkem na ševingování
- Válcovacím strojem jsou válcovány evolventní drážkování I,II,III,IV a strojem na vrtání hlubokých otvorů je vyvrtána díra v pastorku.
- Ševingování ozubení s podélnou a výškovou modifikací a z obou stran sražení hran ozubení. Ozubení pastorku je čelní s 16 šikmými zuby. Po ševingování jsou pastorky vyprány v pračce s následným foukáním stlačeného vzduchu.
- Dále dávka pastorků se v 4 přepravních paletách po 67 ks v automatickém cyklu víceúčelové pece ohřeje na požadovanou teplotu $920\text{ }^{\circ}\text{C}$, proběhne proces nitrocementace, chlazení, další ohřev na kalící teplotu $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ochlazení v kalícím oleji TK-46 při teplotě $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Po zakalení a odkapání oleje jsou pastorky vyvezeny z pece do pracího stroje, kde proběhne nejprve praní a pak opláchnutí vodou. Po vyprání jsou pastorky převezeny do chladičí jednotky a dále do vyhřáté popouštěcí pece o teplotě $160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Po provedení popouštění jsou součásti opět chlazeny v chladičí jednotce a převezeny na další operaci.
- Následuje cyklus pevnostního tryskání ocelovými kuličkami o průměru $0,4\text{ mm}$. Používá se pouze pro ozubení, kdy $\emptyset 32h5$ je chráněn krytkou. Všechny díly jsou dále vyprány v pracím stroji a podrobeny další operaci rovnání.
- Rovnání probíhá v rovnacím lisu z důvodu minimalizace házení (max. hodnota pro házení je stanovena $0,05\text{ mm}$). Zároveň při rovnání automaticky probíhá čištění otvoru díry, kontrola výskytu trhlin a sledování deformací před a po rovnání

pastorku. Po dokončení operace rovnání jsou díly namátkově vybrány a vizuálně se kontroluje kvalita praní a pevnostního tryskání.

- Bruskou Saimp se brousí všechny válcové průměry včetně $\varnothing 32,3h9$ na $\varnothing 32h5$. Dále jsou finálně broušeny zápichy a levá čelní strana ozubeného věnce.
- Pastorky jsou dále na superfinišovacím stroji (Supfina) superfinišovány na $\varnothing 32h5$.
Vliv superfinišování pastorku $\varnothing 32h5$ na celkovou hlučnost se zabývá tato práce.

Konečnou operací finálního pastorku je praní v pracím stroji.

Jednotlivé rozměry pastorku jsou kontrolovány jak ve výrobním procesu, tak na měrovém středisku ozubárny. V měrovém středisku se kontrolují výkresem dané rozměry pro ozubení (obvodové házení, drsnost, podélná soudkovitost, úchylka rozteče, úhlová a tvarová úchylka tvaru a sklonu zubu) a rozměry pro drážkování (ovalita, vlnitost, úchyly rozteče a sklonu boků zubů). Ve výrobním procesu jsou všechny ostatní opracované rozměry z jednotlivých operací kontrolovány dle předepsané četnosti a počtu kusů. Probíhá kontrola tvrdosti, praní, pevnostního tryskání, drážkování pomocí kalibrických kroužků. Zařízením pro zkoušení ozubení CM Digit je kontrolováno ozubení pastorku na přítomnost poškození.

4.2 Popis technologií výroby pastorku

Frézování

Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších vícebřítým nástrojem. V podstatě jde o obrábění kovů, které se provádí dvěma na sebe vázanými pohyby: rotačním pohybem nástroje a posuvným pohybem obrobku. Díky moderním obráběcím strojům je možné realizovat posuvné pohyby plynule měnitelné ve všech směrech. Každý zub frézy postupně odebírá určité množství materiálu. Výhody frézování se projevují ve vysokém výkonu obrábění, jakosti obrobeného povrchu, přesnosti rozměrů a flexibilitě tvarově složitých obrobků.

Soustružení

Soustružení je obrábění řeznými nástroji, při němž se většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení zhotovují součásti válcovitého tvaru. Soustružení je nejjednodušší formou obrábění kovů a nejčastěji používaný proces obrábění. Řezný nástroj je ve většině případů pevný, zatím co obrobek rotuje. V současné době se více než třetina obráběcích operací provádí na soustruzích. Lze na nich obrábět

válcové, kuželové, rotační, rovinné plochy i závity. Hlavní pohybem je otáčivý pohyb obrobku, nástroj koná pohyb vedlejší.

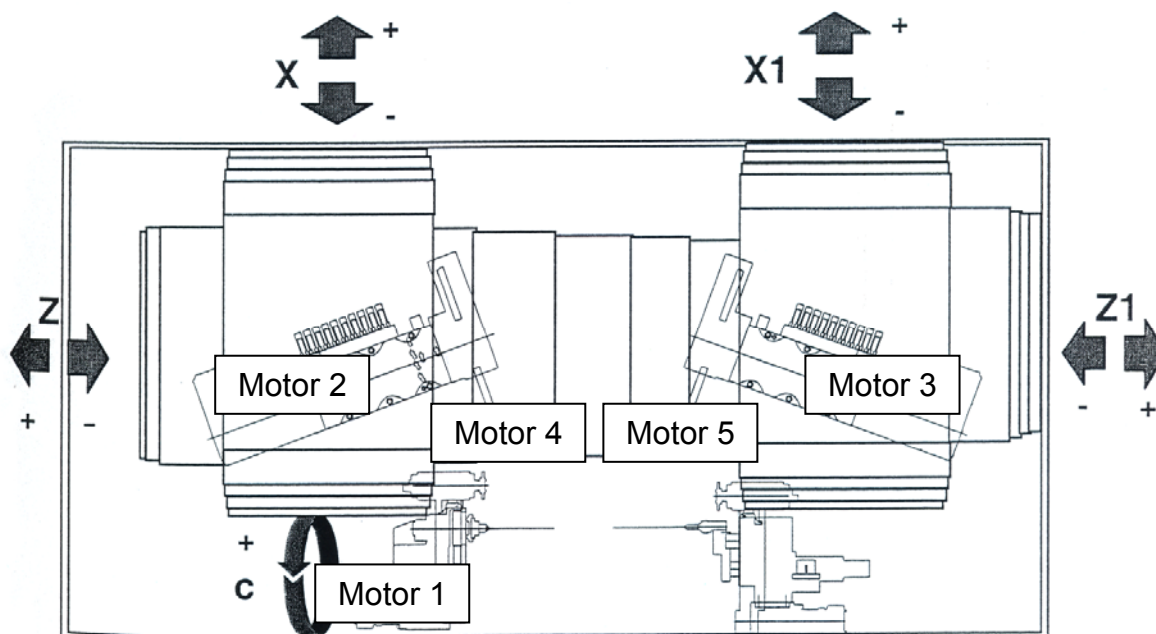
Vrtání hlubokých otvorů

Vrtání je obrábění vnitřních rotačních ploch několikabřitým nástrojem. Pod pojmem vrtání hlubokých otvorů se rozumí obrábění otvorů, u nichž je poměr vrtané délky a průměru vrtáku relativně velký. Hloubka vrtání zvyšuje nároky jak na nástroje, tak na pracovní postupy, na kterých je závislé odvádění třísky, uspokojivé mazání a chlazení.

Broušení

Broušení je dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů, navzájem spojených vhodným pojivem. Broušením dosahujeme větší přesnost, lepší jakost obrobené plochy a geometrický tvar.

Broušení a popis stroje SAIMP



Obr. 7 Schéma stroje SAIMP

Stroj SAIMP je konstruován jako hrotová bruska realizovaná s dvěma nezávislými vřeteny, která jsou konstruována jako elektro-vřetena. Skládá se z robustní konstrukce, která zaručuje dobrou kapacitu pohlcování vibrací. Pohyby brousících

vřeten jsou realizovány pomocí lineárních motorů a vedeny po hydrostatickém vedení. Osy rotací brousících vřeten jsou natočeny oproti ose rotace obrobku o 20°. Brousící kotouče jsou vybaveny automatickým dovažováním od fa. Marposs. Obrobek se upíná mezi opěrný hrot koníku a upínací vřeteno poháněné motorem. Kromě broušení ložiskového $\varnothing 32h5$ pastorku jsou strojem broušeny i ostatní rozdílné průměry včetně průměrů pro drážky.



Obr. 8 Broušené průměry pastorku

Broušení je rozděleno do pěti dílčích částí. Průměry 27 a 32 jsou navíc sledovány aktivním měřidlem Marposs. Parametry broušení jako rychlost otáček obrobku, rychlost brousících kotoučů a parametry broušení jednotlivých průměrů je dána programem.

Část	Levý kotouč	Pravý kotouč
1	$\varnothing 32$	$\varnothing 27$
2	$\varnothing 30,5$	$\varnothing 22$
3	\varnothing pro drážky (36)	\varnothing pro drážky (24)
4	-	\varnothing pro drážky (44)
5	-	\varnothing pro drážky (44)

Tab. 10 Části broušení pastorku

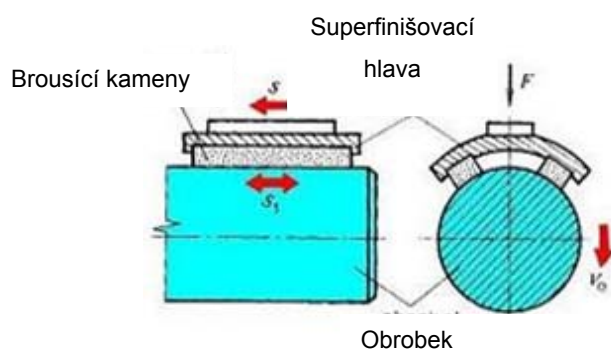
Ševingování

počítáme ho mezi dokončovací práce k výrobě ozubení. Nástroj má tvar ozubeného kola s jemnými břity na bocích zubů. Nástroj odebrává z boků zubů vlasovou jemnou třísku, čímž se zlepšuje jakost povrchu, jejich profil, snižují se úchytky v roztečích a

zlepšuje se geometrická přesnost evolventy. Slouží k dokončování zejména nekalených ozubených kol. Břity tvoří řezné hrany. Nástroj a obrobek spolu zabírají (odvalují se). Nástroj navíc vykonává kmitavý pohyb, rovnoběžný se svou osou.

Superfinašování

Superfinašování je obrábění jemnozrnnými brousíci kameny při nízkých řezných rychlostech, malých měrných tlacích nástroje na obráběnou plochu a při kombinaci kmitavého, otáčivého a přímočarého posuvného pohybu. Předpokladem pro superfinašování je vytvoření kapalinného filmu mezi brusnými kameny a superfinašovací hlavou. Proto se k těmto stykovým plochám přivádí plynule kapalina určité viskozity. Průběh superfinašování závisí na tloušťce kapalinného filmu, kterou lze regulovat tlakem mezi kamenem a superfinašovanou plochou, na viskozitě kapaliny a na relativní rychlosti superfinašovacích kamenů vůči obrobku. Na počátku superfinašování přichází do styku s kameny superfinašovací hlavy, jen nejvyšší výstupky obrobku. Ve stykových plochách působí značný tlak, který odtud vytlačí kapalinový film a nastává rychlé obrušování výstupků formou mikrotřísek. Postupným odřezáváním vrcholů dalšími úběry se nerovnosti zmenšují, zvětšuje se styková plocha a tím se zmenšuje i měrný tlak mezi kamenem a součástí. Obrušování je stále méně intenzivní. Klesne-li měrný tlak mezi kamenem a součástí, dochází k tomu, že tlak filmu je roven tlaku kamene a superfinašování je dokončeno.

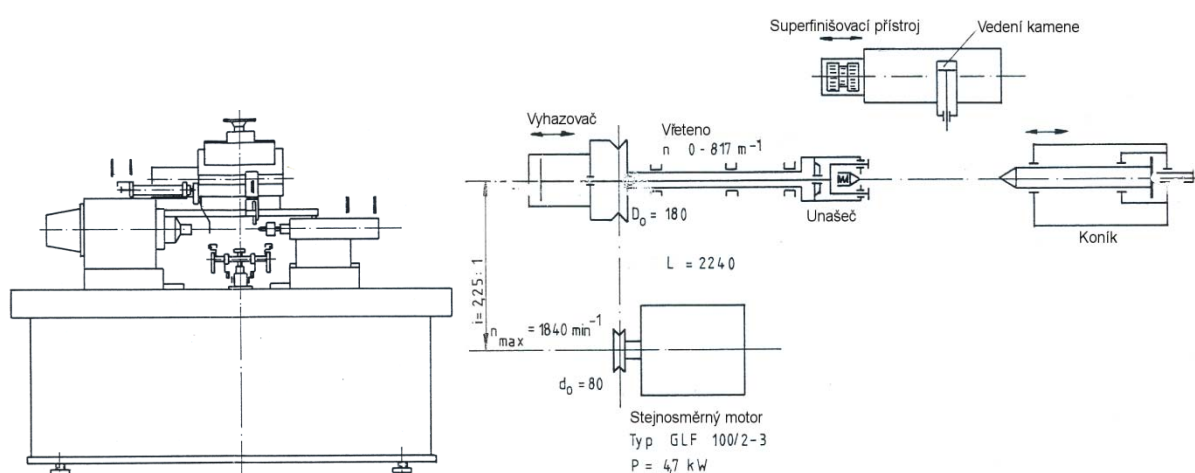


Obr. 9 Superfinašování

Superfinašování a popis stroje SUPFINA

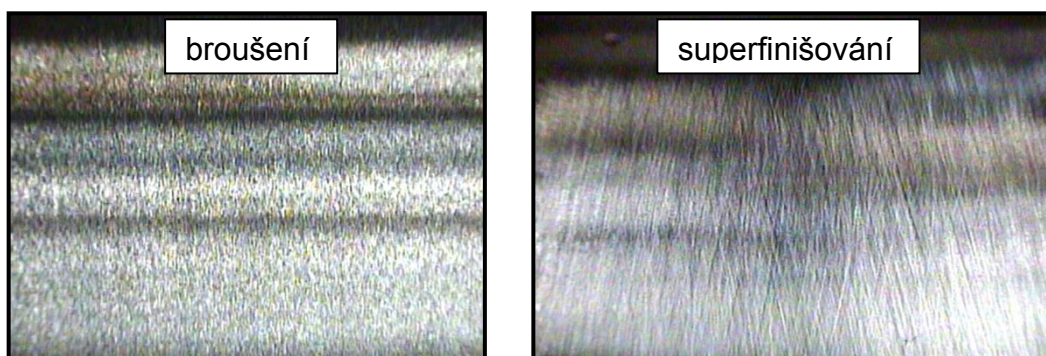
SUPFINA je superfinašovací stroj pro nejjemnější opracování povrchů. Vřetenou obrobku je uloženo se zvýšenou přesností běhu v hlavním ložisku ve dvou proti sobě postavených přesných kuželíkových ložiskách a na straně pohonu v dvouřadém

přesném válečkovém ložisku. Vřeteno obrobku je poháněno dvěma klínovými řemeny pomocí motoru o výkonu 4,7 kW s plynule regulovatelnými otáčkami od 0 – 817 min^{-1} . Upínání obrobku je pneumatické mezi unašeč vřetene a pinolu koníka. Brousící kameny jsou umístěny na vedení superfinišovacího zařízení. Vedení kamenů je seřizovatelné. Superfin. zařízení je pneumaticky buzený kmitavý systém vedený na hranu (linii opracování) obrobku. Zvyšováním tlaku redukčního ventilu se zvyšuje šířka výkmitu a kmitočet kmitání. Při superfinišování se obrobek otáčí a superf. hlava koná kmitavý pohyb. Mezi hlavu a obrobek je v pracovní činnosti přiváděna chladicí kapalina.



Obr. 10 Blokové schéma superf. zařízení

Opracování pastorku na stroji je automatické. Obsluhou stroje jsou pastorky umístěny do dopravního zařízení pro přísun dílů. Zdvihacím zařízením je pohybem vzhůru pastorek uveden do pracovní polohy, následuje upnutí koníkem, zapnutí pohonu vřetene a spuštění přívodu chladicí kapaliny. V další fázi se provede cyklus opracování vibrující superfinišovací hlavou. Po dokončení opracování se vypne přívod chladicí kapaliny a pohon vřetene. Uvede se v činnost vyhazovač obrobku, uvolnění koníku a zdvihacím zařízením pohybem dolů je pastorek umístěn zpět do dopravníku. Tyto jednotlivé činnosti se opakují pro všechny díly v dopravním zařízení. Obsluhou stroje jsou po provedení opracování pastorky kontrolovány. Rozdíl opracování broušeného a superfinišovaného pastorku je patrný z obr. 11.



Obr. 11 Rozdíl způsobu opracování pastorku převodovky MQ 200

Lapování

Lapování je proces obrábění rovinných nebo tvarových ploch, při kterém je materiál obrobku odebírán pohybem brousicích zrn volně rozptýlených v kapalině nebo pastě, umístěných mezi obrobkem a nástrojem. Lapováním se dosahuje zmenšení drsnosti povrchu plochy a zvýšení přesnosti jejího geometrického tvaru. Lze jím dokončovat povrchy tvrdých i měkkých materiálů. Řezný pohyb volných zrn je vyvolán pohybem lapovacího nástroje, který je vůči lapované ploše nepravidelný. Proto se zrna brusiva pohybují po stále se měnících drahách, a tím zanikají stopy po předchozím obrábění.

Rovnění

Rovnění je technologie, která se používá k odstranění nežádoucích deformací. Rovnacím tlakem pod lisem minimalizujeme riziko házení na požadované hodnoty.

Pevnostní tryskání

Jde o vrhání kalených ocelových kuliček metacím kolem na povrch součásti, kde dochází k tlakovému pnutí v hodnotách řádově - 800 MPa a vyhlazování. Používá se pro tvarové součásti z důvodu zvýšení únavové pevnosti a trvanlivosti.

Kalení

Účelem kalení je získat strukturu s vyšší tvrdostí (zvýšit tvrdost materiálu). Proces kalení se skládá z ohřevu materiálu na kalící teplotu a následného ochlazení velkou rychlostí, aby došlo k transformaci austenitu na martenzit či beinit. Aby součást na povrchu nezoxidovala, používá se při vyšších teplotách ochranné atmosféry (vodík, dusík, CO) nebo vakuum.

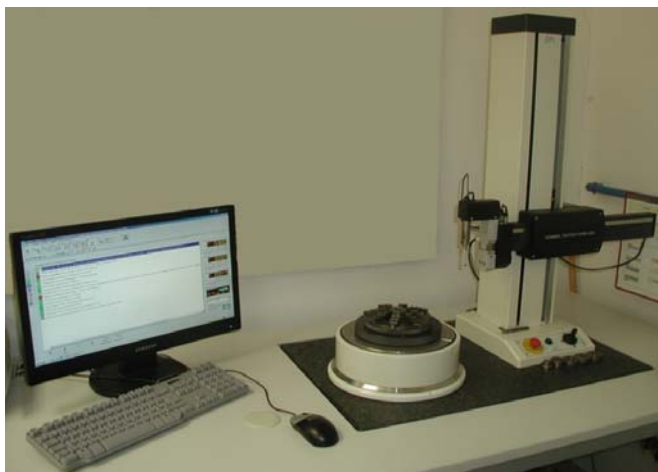
Nitrocementace

Proces, při kterém se nasycuje povrch oceli v plynné atmosféře uhlíkem a dusíkem. Hlavní ekonomický význam má při teplotách nad 800 ° C, které se vedle cementace

používá pro zpracování velmi namáhaných součástí, zejména ozubených kol. Při současně difúzi uhlíku a dusíku v austenitu se účinkem dusíku urychluje difúze uhlíku. Velmi namáhaná nitrocementovaná ozubená kola mají rovněž větší odolnost proti opotřebení otěrem.

4.3 Kontrola ložiskového $\varnothing 32h5$ pastorku převodovky MQ 200

je prováděna pracovníky měrového střediska. Každý den je z výroby odebrán jeden kus opracovaného pastorku, který je podroben kontrole. Vlastní měření probíhá na měřicím přístroji, kruhoměru HOMMEL FORM 4004.



Na otočný stůl měřicího přístroje se upne universální sklíčidlo, do kterého se přes speciální kleštinu vloží pastorek. Speciální kleština je z důvodu nepoškození drážkování pastorku. Dále se na počítači, jenž je součástí měřicího přístroje spustí program pro vyrovnání pastorku.

Obr. 12 Kruhoměr HOMMEL FORM 4004

Provádí se z důvodu kompenzace možného házení měřené součásti a chyby upnutí pastorku, kdy osa součásti je shodná s osou měřidla. Vyrovnání je provedeno přes průměry 32h5 a 22 pomocí vyjímatelného dotyku s kuličkou o $\varnothing 3\text{mm}$ a délky 40mm. V dalším kroku se po výměně dotyků automaticky spustí hlavní program, který měří $\varnothing 32h5$ v patnácti kruhových řezech s pomocí doteku rubínové kuličky o $\varnothing 1\text{mm}$ a délce 40mm. Doba měření všech řezů trvá cca 10 minut. Po naměření všech řezů následuje export změřených dat do počítače, kde se data dále zpracují a vyhodnotí. Jestliže bude pastorek v pořádku, je vrácen do výroby. Pokud bude vyhodnocen jako hlučný, následuje kontrola a seřízení stroje či úprava strojního zařízení a opětovné měření vzorků po seřízení.

4.3.1 Porovnání naměřených hodnot obou způsobů obrábění

Naměřená spektra a protokol pro kruhovitost jak broušeného tak následně opracovaného pastorku technologií superfinišování jsou uvedeny v přílohách č. 3, 4.

Pastorek byl při obou způsobech opracování vyhodnocen jako IO. Porovnáním naměřených hodnot přístrojem FORM 4004 (příloha č. 3), je znatelný rozdíl mezi oběma způsoby obrábění. Na broušeném pastorku se vyskytuje vyšší vlnitost, naopak na superf. pastorku se vlnitost blíží k ideálnímu tvaru. Rovněž porovnáním grafů z Fourierových spekter (příloha č. 4) se harmonické snížily na minimální hodnoty. Amplituda nejvyšší harmonické broušeného pastorku se zmenšila po superfinišování z původní velikosti 0,1 μm na 0,0037 μm .

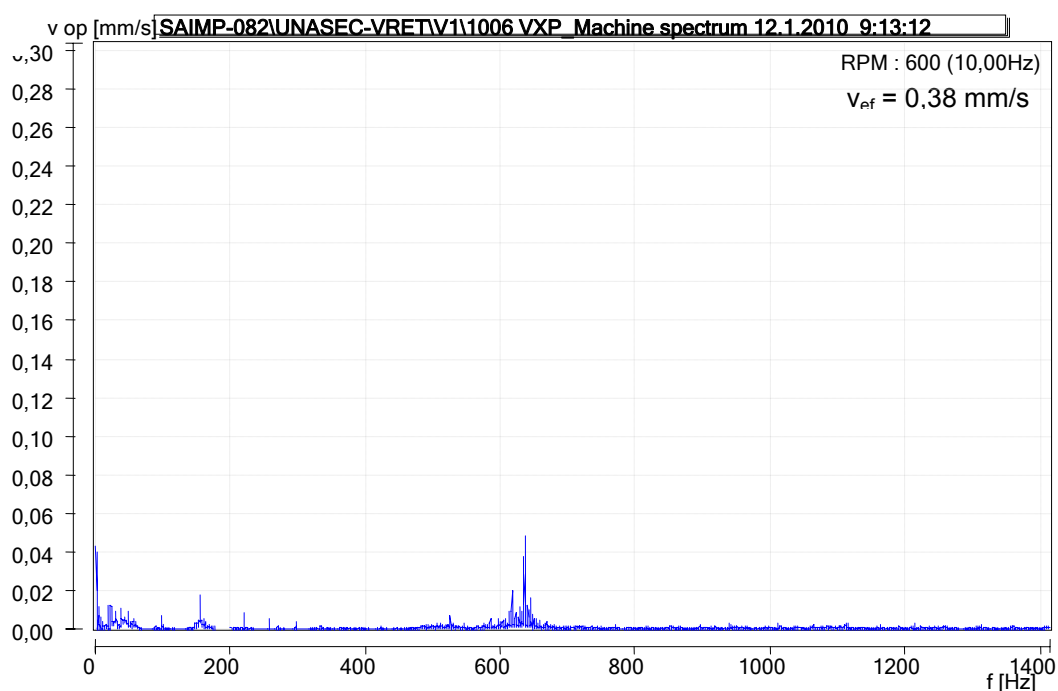
5 Rozbor dynamických poměrů náhonu stroje SAIMP

Náhon stroje SAIMP je zabudován v jednotce upínací hlavy, která se skládá z motoru pro otáčení vřetene a vřetena rotačního upínače. Tato primární soustava má za úkol, společně s opěrným hrotem držet, polohovat a uvádět do rotačního pohybu obráběný kus. Upínací vřeteno je poháněno motorem umístěným za hlavou, jenž přenáší pohyb přes pár řemenic s ozubeným řemenem. Rychlost otáčení vřetena je plynule nastavitelná v rozmezí 0 – 750 otáček za minutu. Tento přenos mezi motorem a vřetenem zaručuje vysokou přesnost v odpovědi a v modulaci rychlosti otáčení, potřebnou v interpolaci s osou X během obrábění. Další motory slouží pro náhon brusných a orovnávacích kotoučů (viz tab. č. 11 a obr. č. 7)

Motor	1	2	3	4	5
Výkon [kW]	15,7	36,6		3	
Rozsah otáček	0-720	0-6000		0-21000	
Pracovní otáčky [ot/min]	hrubování – 256,7 předdokončení – 311 konečné br. – 289,5	2350		8800	8115
Vřeteno	unášecí	brusné levé a pravé		orovnávací levé	orovnávací pravé

Tab. 11 Parametry motorů stroje SAIMP

Pastorky jsou broušeny na strojích SAIMP s inventárními čísly 81 a 82. Pastorek, kterým se zabývá tato práce, byl opracován na stroji č. 82. Na témže stroji bylo provedeno měření spekter rychlosti vibrací unášecího vřetene s výsledky uvedenými na obr. č. 13. Měření proběhlo při otáčkách naprázdno (600 ot/min) s umístěným senzorem ve vertikálním směru. Pro měření byl použit měřicí přístroj VIBEXPERT od firmy PRÜFTECHNIK.



Obr. 13 Spektrum vibrací unášecího vřetene z 12.1.2010 při výrobě broušeného pastorku. $f_R = 10 \text{ Hz}$, $f_z = 600 \text{ Hz}$

Analýza tohoto spektra neukazuje žádné poškození ovlivňující výrobu pastorku.

5.1 Výpočet hlavních zdrojů buzení

Výpočty hlavních zdrojů vibrací stroje SAIMP jsou uvedeny v tab. 12. Byly provedeny jak pro unášecí vřeteno, tak pro vřetena brousící a orovnávací. Unášecí vřeteno je poháněno ozubeným řemenem přes ozubená kola s $z_1=30$ a $z_2=60$ zuby.

Použité vzorce ve výpočtech:

$$f_{Ri} = \frac{RPM_i}{60} \text{ (Hz)} \quad f_{zubová} = f_{R1} \cdot z_1 = f_{R2} \cdot z_2 \text{ (Hz)} \quad f_{R1} = f_{R2} \cdot \frac{z_2}{z_1} \text{ (Hz)}$$

	Unášecí vřeteno	Brousící vřeteno	Orovnávací vřeteno L/P
RPM2 pastorku [ot/min]	600	2350	8800/8115
f_{R2} [Hz]	10	39,2	146,7/135,3
RPM1 motoru [ot/min]	1200	-	-
f_{R1} [Hz]	20	-	-
$f_{zubová}$ [Hz]	600	-	-

Tab. 12 RPM a výpočet frekvencí

6 Výrobní závady součástí převodovek MQ 200

Závady součástí převodovek mající vliv na hlučnost lze rozdělit dle několika příčin. Jedná se o příčiny z různých důvodů: poškození dílů manipulací, nekompletně opracovaných dílů z důvodu vynechaných operací, chybně zapolohovaných dílů z důvodu chybné montáže na lince a vadných dílů způsobených špatně provedenou operací. Nejčastěji postižené součásti převodovek MQ 200 jsou především ozubená kola a ložiska.

6.1 Závady způsobené procesem montáže s vlivem na hlučnost

Poškození dílů je nejčastěji způsobeno nedodržením technologické kázně či nešetrnou manipulací pracovníka s dílem, při kterém dochází k poškození ozubení nebo funkčních průměrů, odlomení části zubu, vyhrnutí materiálu.

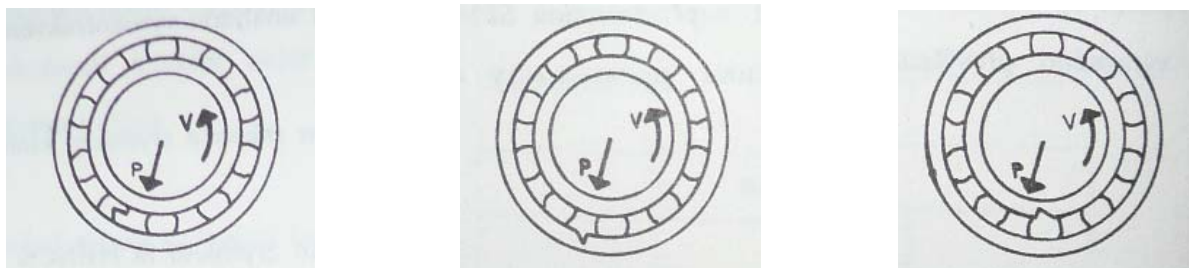
Chybné opracování dílů je způsobeno opotřebením nástrojů obráběcích strojů, vynecháním technologických operací, ke kterým dochází nejčastěji z důvodu technologické nekázně. Mezi takto vynechané operace patří např. broušení nebo ševingování ozubení. Při frézování zubů může obsluha po seřízení stroje vyrobit kusy se slabými zuby, které jsou mimo toleranci. Pokud se tyto díly dostanou dále do výroby tak po ševingování nebudou v pořádku, na některých místech zůstanou stopy po nástroji frézy. Tato závada je okem viditelná, při zabudování do kompletu převodovky se projevuje zvýšenou hlučností. U ševingování při seřizování stroje z důvodu výměny nástroje se musí vhodně nastavit f_{HB} tak, aby díly byly v toleranci. V opačném případě se díly mimo toleranci projeví v kompletu zvýšenou hlučností. Tato závada není okem viditelná, kontrola se provádí měřením. Je vysledováno, že při soustružení je přesnost obrábění závislá na provozní teplotě. V případě spuštění stroje po odstávce, kdy stroj nemá požadovanou teplotu, jsou obrobky opracovávány s odchylkami od požadovaných rozměrů. Z tohoto důvodu jsou pak první kusy kontrolovány případně je stroj přeseřizen. Při broušení se může projevit vliv vibrací stroje, který má za následek vznik vlnitosti na jednotlivých dílech (zubech). Vlnitost se pak následně projeví zvýšenou hlučností.

Montáž dílů mající vliv na hlučnost je zapříčiněna chybně montovanými díly (polohou) do kompletu převodovky, úplností jehlových ložisek, vůlí pojistných kroužků, záměnou konkrétního dílu v sestavě, jenž je určen pro jiný typ převodovky, ojedinělým výskytem cizího předmětu nebo chybějícím dílem v kompletu převodovky.

Rozměry dílů jsou odchylky od výkresové dokumentace např. vadné geometrické úchytky ozubení z důvodu již zmíněného opracování, změn po tepelném zpracování nebo vadné rozměry dílů (např. výška kola, polohy zápichů pro pojistné kroužky, drsnost, vlnitost, tvar) způsobené chybně seřízeným strojem.

Dalším zdrojem hluků mohou být nepřesně vyrobená ozubená kola, různé tuhosti hřídelů převodovky a tuhost skříně. Příčin vzniku hluku je několik. Je to pružnost používaných materiálů, vzájemný pohyb zubů při záběru, úchytky roztečí atd. Záběr jednotlivých zubů má za následek vznik dynamických sil, které rozechvívají jednotlivé části převodovky. Toto chvění se přenáší na plášť převodovky a je dále intenzivně vyzařováno do okolí. Z principu ozubených převodů vyplývá, že nelze zcela zamezit vzniku rázů při záběru jednotlivých zubů. Hluk lze také snížit vhodným mazacím prostředkem o 4 až 6 dB. Nízké hlučnosti vyhovují zejména kola se šikmým ozubením. Šikmá ozubení jsou v praxi o 5 dB méně hlučná, než ozubení s přímými zuby. Na hluk má také významný vliv obvodová rychlost kol. Při vzájemném styku odvalujících se těles valivých ložisek i ozubených kol dochází k deformaci těles, materiál se zpevňuje a vzniká tlakové pnutí. Dosáhne-li určité hodnoty vzniknou na rozmezí nedeformované a deformované vrstvy trhlinky, které se zvětšují, až se spojí s povrchovou vrstvou, kde se oddělí částice materiálu a vzniknou charakteristické důlky (pittings).

Vznik hluku valivých ložisek je možné shrnout do několika bodů. Jsou to odchylky od ideálního geometrického tvaru u valivých těles ložisek a oběžných drah způsobené vlivem výroby. Vzájemným pohybem jednotlivých elementů ložiska pak vznikají mechanické rázy, které jsou zdrojem budících sil. Prostřednictvím přiléhajících konstrukčních částí se pak chvění vyzařuje ve formě akustické energie do okolního vzduchu. Tato energie je pak lidským uchem vnímána jako nežádoucí hluk. Jednou z dalších příčin hluku je prokluz ložisek, jenž je průvodním jevem nedokonalého odvalování. Při vysokých otáčkách pak vnitřní nevyvážené hmoty v ložisku vyvolávají velké dynamické budící síly. Ložisko je také výrazným budičem kmitání v případech, kdy dojde k únavovému poškození oběžných drah a valivých těles. Valivá tělesa vnikají do důlků v zatížených oblastech a dochází k rázovému buzení.



Obr. 14 Poškození valivých ložisek

Důležitou pomůckou v identifikaci poškození ložiska je výpočet frekvence rázového buzení při poškození vnitřního a vnějšího kroužku, valivých těles a klece valivého ložiska.

6.2 Možnosti snížení hluku převodovek MQ 200

Na základě měření hluku a analýzy vibrací lze nalézt zdroje, které buzení hluku a vibrací způsobují. Pokud úroveň hluku převodovky neodpovídá požadavkům, je třeba navrhnout taková opatření, která umožní snížit úroveň hluku.

6.2.1 Snižování hlučnosti převodovek ve výrobě

Všechny závady popsané v předešlé kapitole 6.1 jsou způsobeny výrobním procesem. Aby jednotlivé závady byly odstraněny nebo přinejmenším minimalizovány, je nutné nasadit taková účinná opatření, která dosáhnou požadovaného stavu. Mezi často realizovaná opatření patří především dodržování technologické kázně, seznámení a poučení pracovníků s jednotlivými závadami. Aby nedocházelo k poškození dílů manipulací nebo dopravou je třeba zvolit vhodnou paletizaci včetně způsobilých plastových proložek s výstelky, odstranit nebezpečné hrany na strojích případně je zakrýt plastovými kryty. Při vzniku závady z důvodu vynechané operace nebo chybné rozměrovosti dílu je třeba nasadit technologické opatření, které zamezí propuštění dílů bez provedení operace. Provádět pravidelnou kontrolu a nastavení kontrolních stanic včetně důsledného provádění kontrol po jednotlivých operacích s dodržáním předepsaných intervalů kontrolních měření.

Montážní závady způsobené chybnou polohou nebo záměnou dílu je třeba opět řešit dodržáním technologické kázně, zřetelným značením dílů a palet, strojní kontrolou správnosti montáže po provedené operaci (laserovými, elektromagnetickými snímači) nebo kamerovými kontroly kompletu. Kamerovou kontrolou se kontrolují komplety hnacích hřídelů a pastorku (kolečka, pojistné kroužky, synchronní spojka a kroužky),

úplnost stálého převodu a skříně spojky, nanášení tmelu na dělicí roviny. Vniknutí cizího materiálu do funkčních míst převodovky je třeba zamezit vhodnými ochrannými krytkami proti zapadnutí spojovacího materiálu a zakrytáním rozpracovaných převodovek během odstávek výroby. K zamezení montáže N.I.O. dílů je třeba jejich jednoznačné značení a separací na určeném místě, aby tyto díly nebyly zpracovány jako dobré ve výrobě. Na montáži převodovek rovněž probíhá audit výrobku, při kterém se audituje jedna převodovka denně. Při auditu se kontroluje stav hladiny oleje, utahovací momenty M_{kd2} , poškození jednotlivých dílů, atd. Audit je důležitou součástí procesu výroby z důvodu sledování aktuálního stavu kvality kompletu a jednotlivých dílů převodovky. V případě zjištění odchylek od předepsaného technického stavu jsou tyto odchylky okamžitě řešeny a jsou požadována opatření k odstranění zjištěných závad.

6.2.2 Snižování hlučnosti převodovek v konstrukci

Hlučnost převodovky je třeba řešit již v počátku konstrukce při volbě počtu zubů, převodových poměrů. Změnou či vylepšením technologie lze zlepšit přesnost ozubení, snížit drsnost povrchů boků zubů. Dalšími možnostmi je zmenšení vůlí v systému pohonu i u volných dílů převodovky, odstranění vyskytujících se torzních a rezonančních kmitů. Hluk vyzařovaný povrchem skříně můžeme minimalizovat vhodnými tvarovými úpravami, jako je žebrování, odstranění rovných ploch, nerovnoměrné rozložení hmot skříně a dle možností hledat cesty ke zmenšení vlivu přenosových cest (tuhost hřídelů, vhodná volba ložisek, tlumení). Důrazem výrobců kladeným na tichý chod ozubení ukázalo, že buzení hluku a vibrací silně závisí na hodnotách ε_α a ε_β . Dle výsledku různých zkoušek a zkušenostmi jednotlivých výrobců se ukázalo, že dosažením snížení hluku se zvyšuje únosnost. Výškově modifikovaná soukolí mohou být pro málo zatížená soukolí z hlediska buzení hluku horší než soukolí bez modifikace. Buzení vibrací a hluk snižuje také minimální kolísání tuhosti během záběru. Pro výrobu a montáž ložisek je třeba zabezpečit souosost ložisek, vyhnout se šikmému nalisování ložisek do pánví apod. Důležitá je také vůle mezi valivými tělisky a oběžnými drahami. Pokud vznikne velké předpětí, životnost ložiska se zkrátí, chod ložiska je provázen zvýšenou teplotou a zvýší se hladina hluku.

6.3 Výpočet frekvencí ložisek

Pro výpočty frekvencí je třeba znát jednotlivé parametry ložisek, které jsou uvedeny v tab. 13 a rotorové frekvence hřídelů vypočtených v kapitole 3.5. Umístění jednotlivých ložisek je znázorněno v příloze č. 5.

Ložisko	Označení / Typ	Počet valivých těles Z	Průměr valivého tělíska do [mm]	Střední průměr ložiska D _s [mm]	Úhel dotyku α [°]
1, 3	02T.311.206.E kuličkové	8	11,1	42	11,616
2	02T.311.375.E jehlové	19	4	35,55	0
4	02T.311.373.G jehlové	16	6	40,8	0
5, 6	003.519.189.F kuželíkové	21	6,488	51,594	12,40742

Tab. 13 Parametry ložisek převodovky MQ200 – LVG

Použité vzorce ve výpočtech:

$$f_{Li} = \frac{Z}{2} \cdot f_{Ri} \cdot \left(1 + \frac{d_0}{D_s} \cdot \cos\alpha\right)$$

$$f_{Lo} = \frac{Z}{2} \cdot f_{Ri} \cdot \left(1 - \frac{d_0}{D_s} \cdot \cos\alpha\right)$$

$$f_{Lv} = \frac{D_s}{d_o} \cdot f_{Ri} \cdot \left[1 - \left(\frac{d_0}{D_s} \cdot \cos\alpha\right)^2\right]$$

$$f_{Lk} = \frac{1}{2} \cdot f_{Ri} \cdot \left(1 - \frac{d_0}{D_s} \cdot \cos\alpha\right)$$

Rychlostní stupeň	Frekvence vnitřního kroužku f _{Li} [Hz]				Frekvence vnějšího kroužku f _{Lo} [Hz]				Frekvence valivých těles f _{Lv} [Hz]				Frekvence klece ložiska f _{Lk} [Hz]			
	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.
1	336, 203	335, 196	335, 951	335, 196	197, 930	199, 875	197, 782	197, 337	235, 701	234, 995	235, 524	234, 995	24, 741	24, 667	24, 723	24, 667
2	336, 623	335, 280	336, 119	335, 280	198, 177	197, 387	197, 881	197, 387	235, 995	235, 053	235, 642	235, 053	24, 772	24, 673	24, 735	24, 673
3	336, 455	335, 280	336, 874	335, 280	198, 079	197, 387	198, 326	197, 387	235, 877	235, 053	236, 171	235, 053	24, 760	24, 673	24, 791	24, 673
4	318, 831	319, 250	333, 685	319, 250	187, 703	187, 950	196, 448	187, 950	223, 521	223, 815	233, 935	223, 815	23, 463	23, 494	24, 556	23, 494
5	319, 670	319, 082	332, 342	319, 082	188, 197	187, 851	195, 658	187, 851	224, 110	223, 698	232, 994	223, 698	23, 525	23, 481	24, 457	23, 481

Tab. 14 Frekvence ložiska č. 1 - SKF BB1-3155



Rychlostní stupeň	Frekvence vnitřního kroužku f_{Li} [Hz]				Frekvence vnějšího kroužku f_{Lo} [Hz]				Frekvence valivých těles f_{Lv} [Hz]				Frekvence klece ložiska f_{Lk} [Hz]			
Typ analýzy	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.
1	705,651	703,538	705,123	703,538	562,915	561,229	562,494	561,229	585,876	584,121	585,438	584,121	29,627	29,538	29,605	29,538
2	706,532	703,714	705,475	703,714	563,618	561,370	562,775	561,370	586,608	584,268	585,730	584,268	29,664	29,546	29,620	29,546
3	706,180	703,714	707,061	703,714	563,337	561,370	564,039	561,370	586,315	584,268	587,046	584,268	29,649	29,546	29,686	29,546
4	669,189	670,069	700,367	670,069	533,828	534,531	558,700	534,531	555,603	556,334	581,489	556,334	28,096	28,133	29,405	28,133
5	670,950	669,717	697,549	669,717	535,233	534,250	556,451	534,250	557,065	556,041	579,149	556,041	28,170	28,118	29,287	28,118

Tab. 15 Frekvence ložiska č.2 - INA/F 23 23 49

Rychlostní stupeň	Frekvence vnitřního kroužku f_{Li} [Hz]				Frekvence vnějšího kroužku f_{Lo} [Hz]				Frekvence valivých těles f_{Lv} [Hz]				Frekvence klece ložiska f_{Lk} [Hz]			
Typ analýzy	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.
1	89,197	88,930	89,130	88,930	52,512	52,355	52,473	52,355	62,533	62,345	62,486	62,345	6,564	6,544	6,559	6,544
2	160,661	160,020	160,420	160,020	94,585	94,207	94,443	94,207	112,634	112,185	112,465	112,185	11,823	11,776	11,805	11,776
3	242,560	241,713	242,863	241,713	142,801	142,302	142,979	142,302	170,051	169,457	170,263	169,457	17,850	17,788	17,872	17,788
4	310,860	311,269	325,343	311,269	183,010	183,251	191,537	183,251	217,933	218,220	228,087	218,220	22,876	22,906	23,942	22,906
5	375,612	374,922	390,502	374,922	221,131	220,725	229,898	220,725	263,329	262,845	273,768	262,845	27,641	27,591	28,737	27,591

Tab. 16 Frekvence ložiska č.3 - SKF BB1-3155

Rychlostní stupeň	Frekvence vnitřního kroužku f_{Li} [Hz]				Frekvence vnějšího kroužku f_{Lo} [Hz]				Frekvence valivých těles f_{Lv} [Hz]				Frekvence klece ložiska f_{Lk} [Hz]			
Typ analýzy	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.
1					120,869	120,507	120,779	120,507	117,848	117,495	117,759	117,495	7,554	7,532	7,549	7,532
2					217,709	216,841	217,384	216,841	212,267	211,420	211,949	211,420	13,607	13,553	13,586	13,553
3					328,690	327,543	329,100	327,543	320,473	319,354	320,873	319,354	20,543	20,471	20,569	20,471
4					421,242	421,796	440,868	421,796	410,711	411,252	429,847	411,252	26,328	26,362	27,554	26,362
5					508,987	508,052	529,165	508,052	496,262	495,350	515,936	495,350	31,812	31,753	33,073	31,753

Tab. 17 Frekvence ložiska č.4 INA/JN8 S-555 809

Rychlostní stupeň	Frekvence vnitřního kroužku f_{Li} [Hz]				Frekvence vnějšího kroužku f_{Lo} [Hz]				Frekvence valivých těles f_{Lv} [Hz]				Frekvence klece ložiska f_{Lk} [Hz]			
Typ analýzy	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.	F.T.	F.Z.	O.T.	O.Z.
1	49,8 71	49,7 22	49,8 34	49,7 22	38,9 61	38,8 45	38,9 32	38,8 45	33,1 31	33,0 32	33,1 07	33,0 32	1,85 5	1,85 0	1,85 4	1,85 0
2	89,8 28	89,4 69	89,6 93	89,4 69	70,1 77	69,8 97	70,0 72	69,8 97	59,6 76	59,4 38	59,5 87	59,4 38	3,34 2	3,32 8	3,33 7	3,32 8
3	135, 619	135, 145	135, 788	135, 145	105, 951	105, 581	106, 083	105, 581	90,0 97	89,7 83	90,2 10	89,7 83	5,04 5	5,02 8	5,05 2	5,02 8
4	173, 806	174, 035	181, 904	174, 035	135, 784	135, 963	142, 110	135, 963	115, 466	115, 618	120, 846	115, 618	6,46 6	6,47 4	6,76 7	6,47 4
5	210, 010	209, 624	218, 335	209, 624	164, 068	163, 766	170, 572	163, 766	139, 518	139, 262	145, 049	139, 262	7,81 3	7,79 8	8,12 2	7,79 8

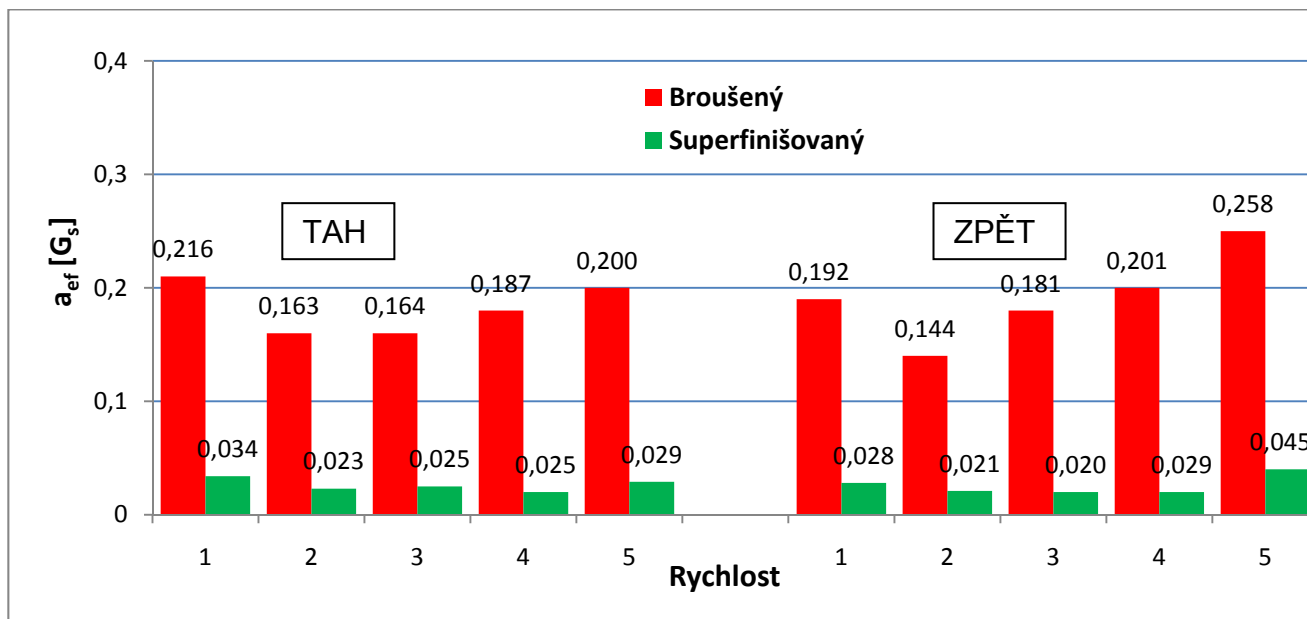
Tab. 18 Frekvence ložiska č.5 a č.6 - SKF LM 297 49 / QCL 7CVA 606

7 Analýza provedených měření

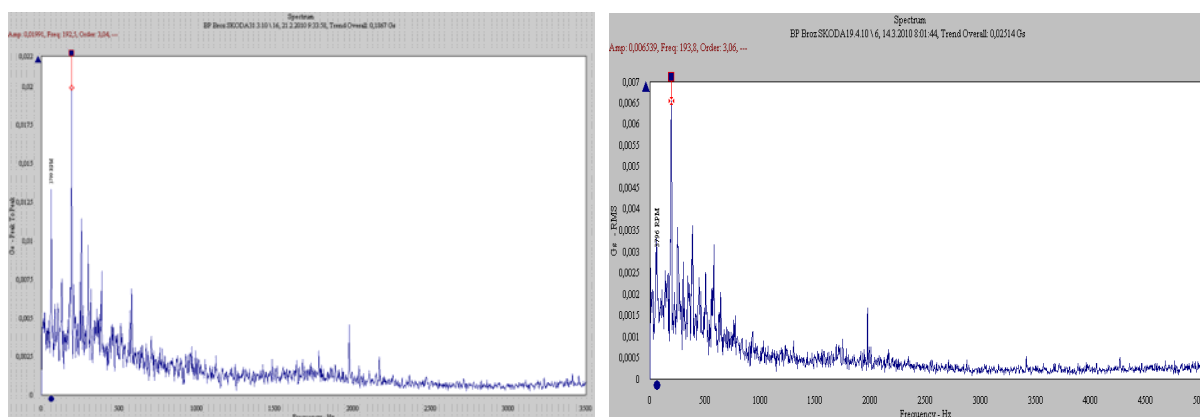
Z analýz spekter obálky valivých ložisek provedených měření je patrné, že superfinišovaný válcový průměr 32h5 nemá žádný vliv na hlučnost ozubených kol převodovky, ale má velký vliv na hlučnost zdroje buzení od valivého ložiska č. 4. (viz tab. 19 a obr. 15-19). Z analýzy obálkových spekter vibrací vyplývá, že ostatní ložiska převodovky MQ 200 nemají žádný vliv na zvýšenou hlučnost převodovky.

Rychlost	Broušený pastorek a_{ef} [G _s] – obálková metoda		Superfinišový pastorek a_{ef} [G _s] – obálková metoda	
	TAH	ZPĚT	TAH	ZPĚT
1	0,216	0,192	0,034	0,028
2	0,163	0,144	0,023	0,021
3	0,164	0,181	0,025	0,020
4	0,187	0,201	0,025	0,029
5	0,200	0,258	0,029	0,045

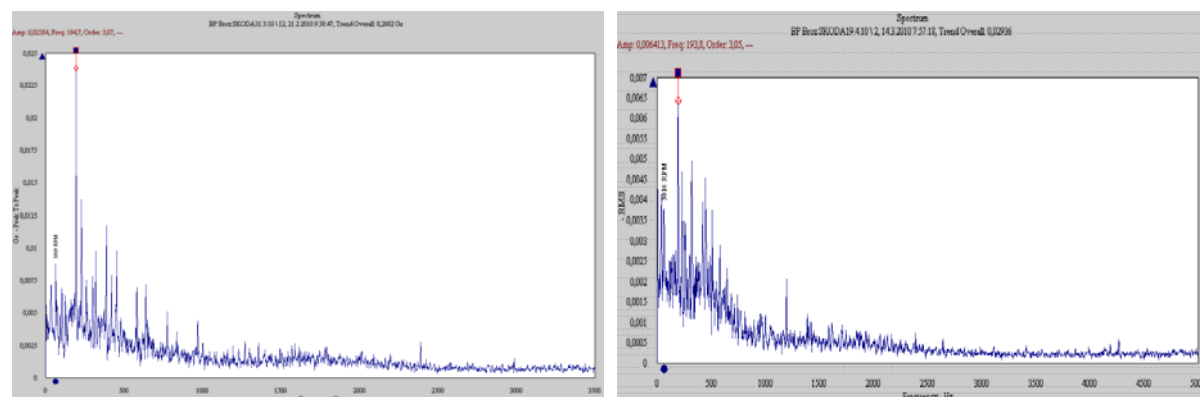
Tab. 19 Výsledné celkové hodnoty amplitud hlučnosti ložisek



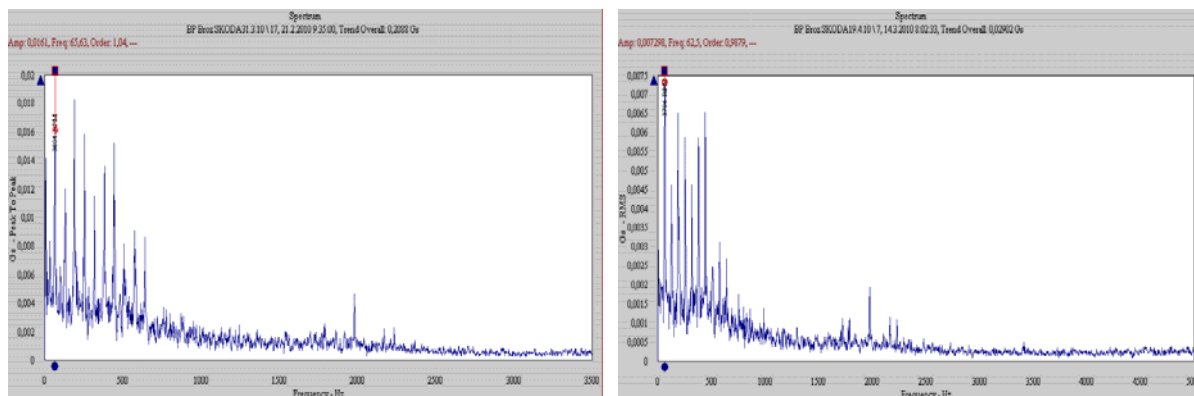
Obr. 15 Grafické porovnání hlučností broušeného a superfinišovaného pastorku



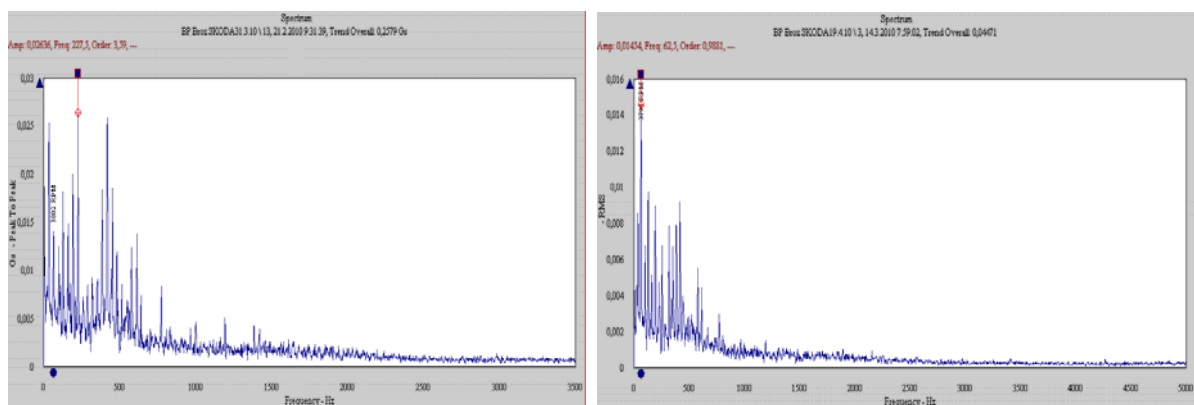
Obr. 16 Obálkové spektrum vibrace ložisek převodovky MQ200 při 4. rychlosti v tahu (levý obr. broušený pastorek - $a_{ef} = 0,187 \text{ G}_s$, pravý obr. superfinišovaný pastorek - $a_{ef} = 0,025 \text{ G}_s$ => superfinišování je o 87% menší)



Obr. 17 Obálkové spektrum vibrace ložisek převodovky MQ200 při 5. rychlosti v tahu (levý obr. broušený pastorek - $a_{ef} = 0,200 \text{ G}_s$, pravý obr. superfinišovaný pastorek - $a_{ef} = 0,029 \text{ G}_s$ => superfinišování je o 86% menší)



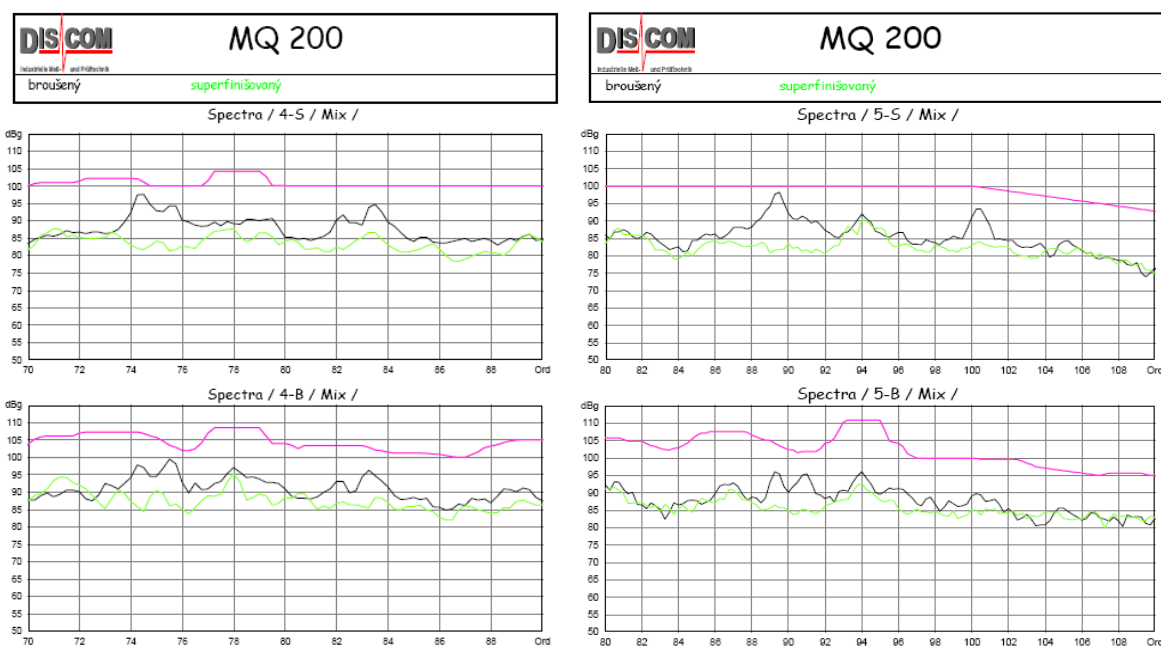
Obr. 18 Obálkové spektrum vibrace ložisek převodovky MQ200 při 4.rychllosti na zpět (levý obr. broušený pastorek - $a_{ef} = 0,201 G_s$, pravý obr. superfinišovaný pastorek - $a_{ef} = 0,029 G_s \Rightarrow$ superfinišování je o 86% menší)



Obr. 19 Obálkové spektrum vibrace ložisek převodovky MQ200 při 5.rychllosti na zpět (levý obr. broušený pastorek - $a_{ef} = 0,258 G_s$, pravý obr. superfinišovaný pastorek - $a_{ef} = 0,045 G_s \Rightarrow$ superfinišování je o 83% menší)

7.1 Projev výrobních závad pastorku a návrh k jejich odstranění

Broušený pastorek se na zabíhací stanici ve všech rychlostech pro TAH i ZPĚT projevil zvýšenou hlučností (obr. 20). Zelená křivka znamená superfinišovaný pastorek, černá znamená broušený pastorek. Superfinišováním se hlučnost snížila v některých řádech až o cca 15 dB.



Obr. 20 Porovnání řádové analýzy 4 a 5 rychlosti v TAHU i ZPĚT

Mezi další závady pastorku způsobující zvýšenou hlučnost na zabíhacím stavu patří házení drážkování, které má za následek házení kolečka v konkrétní rychlosti nebo nedodržení výkresových hodnot jednotlivých výšek pastorku, které způsobí, že ozubená kolečka na pastorku nebudou mít axiální vůle a přidírají se. Na hlučnost mají také vliv otlaky na pastorku způsobené vlivem špon nebo nešetrnou montáží. Pro předcházení a odstranění jednotlivých závad je nutné provádět pravidelné kontroly nastavení stanic, udržovat čistotu na pracovištích a samozřejmě dodržovat technologickou kázeň při výrobě pastorku (viz kap. 6.2.1)

8. Závěr

V současné době z důvodu vysoké konkurence mezi jednotlivými výrobci automobilů, je intenzita vnitřního hluku ve vozidle jednou ze složek zájmu pro případné kupce jak na našem trhu, tak v Evropské unii (dle směrnic EU). Proto z hlediska prodeje je pro výrobce vozidel potřeba docílit nízké úrovně vnitřního hluku. Tato bakalářská práce se zabývala vlivem různého způsobu opracování pastorku ložiskového průměru 32h5 na výslednou hlučnost převodovky MQ 200. Pastorek byl nejprve opracován broušením na brousícím stroji SAIMP, zastavěn do převodovky a následně opracován technologií superfinašování na stroji SUPFINA s opětovnou zástavbou. Pro obě technologie bylo vyhodnoceno měření celkové hodnoty vibrací jak na

zabíhací stanici, tak frekvenční a obálkovou analýzou pro všechny rychlostní stupně. V měrovém středisku se provedlo porovnání naměřených hodnot obou způsobů opracování pro kruhovitost a Fourierovy spektra. Dále byla v obálkové analýze měřena a porovnána spektra vibrací ložisek převodovky. Při výrobě pastorku byla zároveň měřena spektra rychlosti vibrací unášecího včetně brousícího stroje SAIMP.

Frekvenční analýzy provedené ve dnech 25. 3 a 15. 4. 2010 nám potvrdily předpoklad, že na celkovou hlučnost převodovky mají vliv opětovné montáže jednotlivých komponentů převodovky. Porovnáním příloh č. 1 a 2, se při druhém měření na zabíhací stanici se superfinišovaným pastorkem v některých případech zhoršila zubová frekvence. Projevil se zde vliv opětovné, ručně provedené montáže, při které pravděpodobně došlo během montáže k nepředepsaným vůlím a předpětí ložisek. Z tohoto důvodu doporučuji, aby v případě dalších zkoušek byla prováděna montáž převodovky strojní montáží. Porovnáním superfinišovaného a broušeného pastorku z přílohy č. 3 je po superfinišování patrné zlepšení kruhovitosti, kde se vlnitost blíží k ideálnímu tvaru oproti broušenému, na kterém se vyskytuje větší vlnitost (průměrné hodnoty po superfinišování klesly z původních 2,38 μm na 1,14 μm). Shodná situace nastala při srovnání Fourierových spekter v příloze č. 4, kde se amplitudy nejvyšších harmonických snížily na minimální hodnoty. Nejvyšší harmonická broušeného pastorku na 138 vlně se po superfinišování zmenšila z původní velikosti 0,1 μm na 0,0037 μm . Analýza spekter rychlosti vibrací unášecího včetně stroje SAIMP neukázala žádná poškození, která by měla vliv na výrobu pastorku.

Největší vliv snížení celkové hodnoty vibrací převodovky se projevil při analýze spekter obálky valivých ložisek, konkrétně na ložisku č. 4, tj. válcovém průměru 32h5, který plní funkci vnitřního kroužku ložiska (viz kap. 7, tab. 19, obr. č. 15-19), kde došlo ke snížení v průměru o 86%. Dále porovnáním řádových analýz na zabíhací stanici se hlučnost snížila na superfinišovaném pastorku v některých řádech až o cca 15 dB (viz obr. 20). Z těchto důvodů lze konstatovat, že technologie superfinišování má velký vliv na hlučnost zdrojů buzení od valivých ložisek, konkrétně průměru 32h5.

Seznam použité literatury

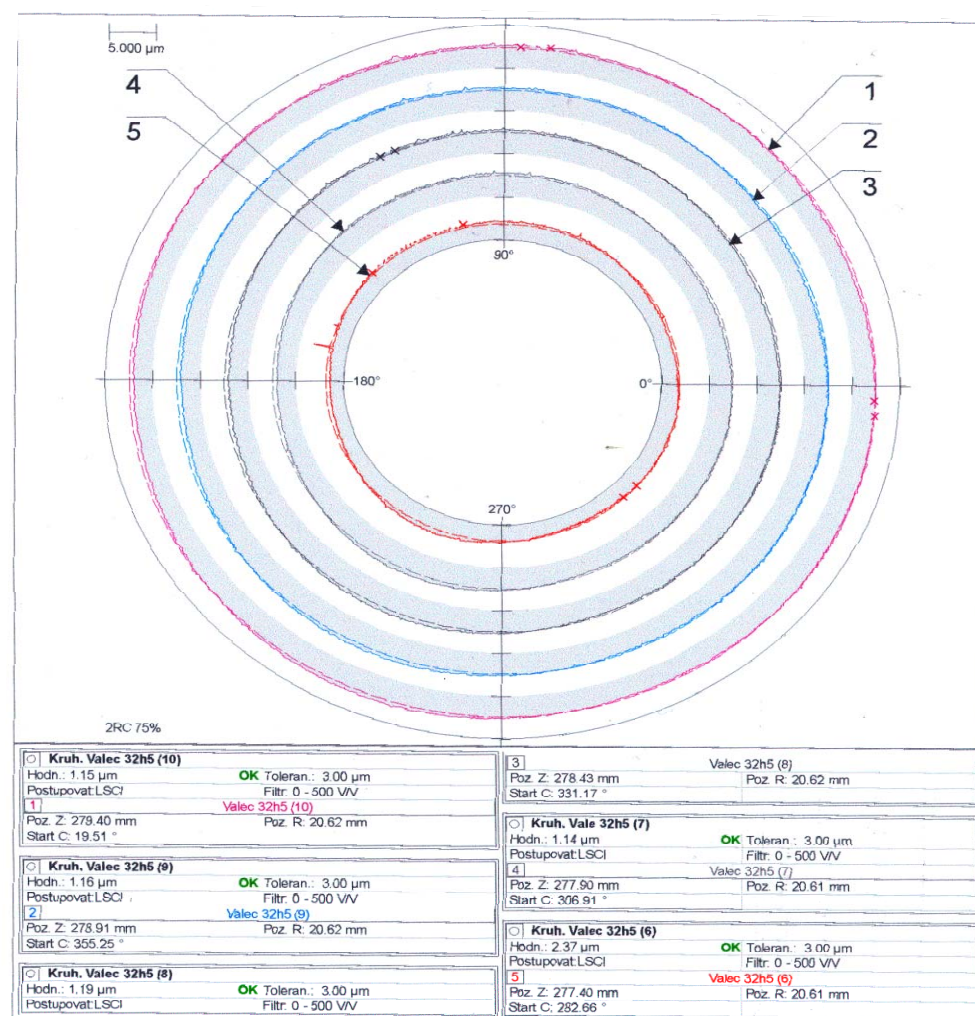
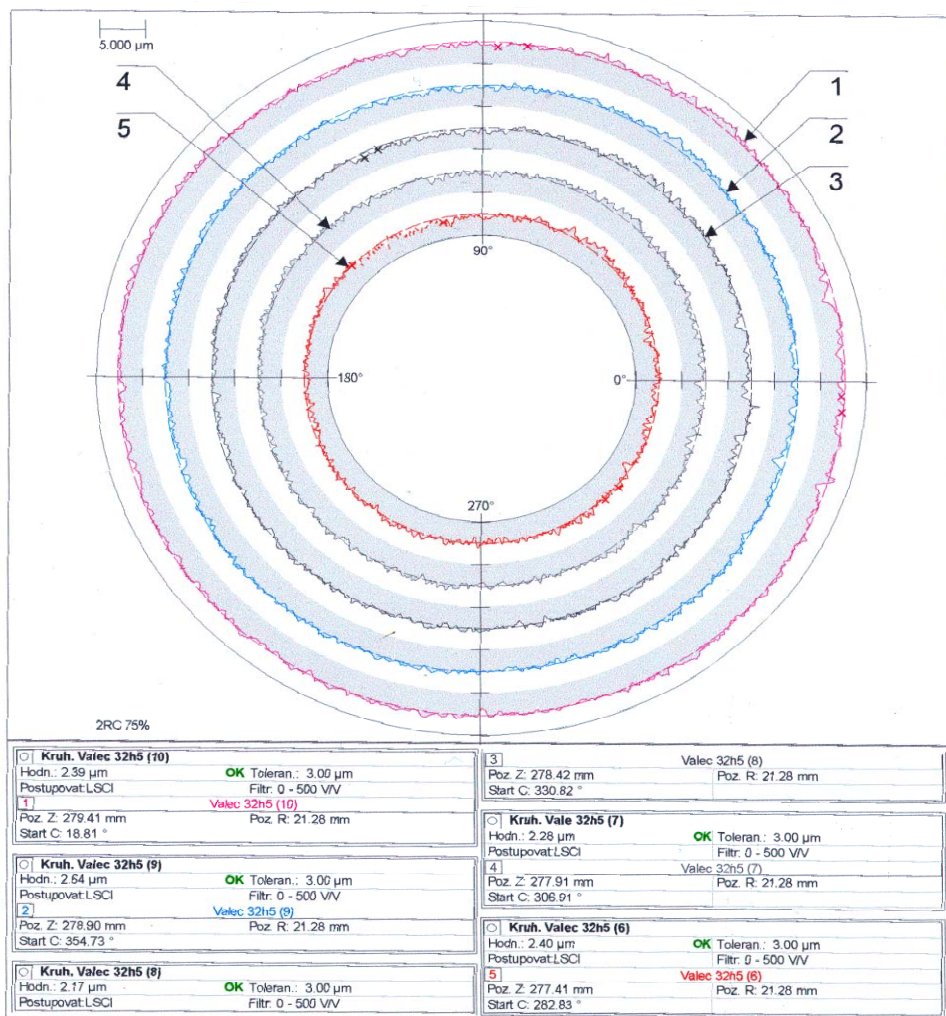
- [1] Černoch S.: Strojně technická příručka, Praha 1977
- [2] Vlk F.: Převodová ústrojí motorových vozidel, Brno 2000
- [3] Tůmová G.: Mechanická převodná ústrojí, Liberec 1999
- [4] D. P. k převodovce MQ 200
- [5] Tomeh E.: Vliv stálého převodu na úroveň vibrací a hluku př. Škoda, sborník přednášek Koka 2003
- [6] Příručka Discom
- [7] Příručka Brüel & Kjaer – Měření chvění
- [8] Příručka k údržbě a obsluze stroje Saimp
- [9] Moravec V.: Konstrukce strojů a zařízení II., Montanex a.s. 2001
- [10] Tomeh E., Beneš Š.: Metody diagnostiky valivých ložisek, Liberec 1991
- [11] Němeček P.: Hluk v technické praxi I., TU v Liberci 1998
- [12] Nový R.: Hluk a chvění, ČVUT 1995
- [13] Apetaur M.: Konstrukce automobilů 1 – Hluk motorových vozidel, ČVUT 1994
- [14] Vasilko K. a kolektiv: Valivé Ložiská, Bratislava 1988
- [15] Tomeh, E.: Diagnostic Methodology of Rolling Element and Journal Bearings. Technická univerzita v Liberci 2007.
- [16] Tomeh, E.: Hlučnost a vibrace automobilových převodovek v souvislosti s identifikovanými závadami obráběcích strojů. Habilitační práce TU v Liberci 2008.
- [17] Janoušek I., Kozák J., Taraba O. a kolektiv: Technická diagnostika, Praha 1988

TAH								ZPĚT					
Rychlost		a_{ofR}			f_z a_{ofz}	f_{zSP} a_{ofzSP}	Významné frekvence / a_o	a_{ofR}			f_z a_{ofz}	f_{zSP} a_{ofzSP}	Významné frekvence / a_o
		Vstupní hřidel	Výstupní hřidel	difere nciál				Vstupní hřidel	Výstupní hřidel	difere nciál			
1	f_R	67,8	17,5	4,3	868 0,84	283,4 0,01	2.HS/0,95	65,6	17,5	4,3	865,4 0,5	282,6 0,009	2.HS/0,79
	a_o	0,006	0	0				0,005	0,0003	0,0001			
2	f_R	67,8	32,8	8,7	1403,9 0,16	510,5 0,004	3.HS SP/0,24	65,6	32,8	6,6	1398,3 0,06	508,5 0,054	3.HS SP/0,21 4.HS SP/0,37
	a_o	0,004	0,0009	0,0002				0,0048	0,001	0,0001			
3	f_R	65,6	48,1	10,9	2071,3 0,045	770,7 0,087	2.HS SP/0,42	65,6	48,1	10,9	2064,1 0,68	768 0,086	2.HS SP/0,36
	a_o	0,006	0,0004	0,0003				0,009	0,0003	0,0005			
4	f_R	63,4	61,2	15,3	2469,4 0,16	987,7 0,062	1977,5/0,58	63,4	61,3	15,3	2472,6 0,06	989 0,11	1980/0,49
	a_o	0,007	0,004	0,001				0,008	0,0037	0,001			
5	f_R	63,4	74,4	17,5	2983,7 0,149	1193,6 0,1	2389/ 0,43	63,4	74,4	17,5	2978,2 0,045	1191,3 0,017	1978/0,58
	a_o	0,0045	0,0019	0,0015				0,007	0,0008	0,0002			

Příloha č.1 Broušený pastorek – frekvenční analýza z 25.3.2010 analyzátořem MICROLOG

TAH								ZPĚT					
Rychlost		a_{ofR}			f_z a_{ofz}	f_{zSP} a_{ofzSP}	Významné frekvence / a_o	a_{ofR}			f_z a_{ofz}	f_{zSP} a_{ofzSP}	Významné frekvence / a_o
		Vstupní hřídel	Výstupní hřídel	difere nciál				Vstupní hřídel	Výstupní hřídel	difere nciál			
1	f_R	66,6	17,7	4,2	866 0,8	282,8 0,03	2.HS/0,87	66,6	17,7	4,2	865,4 0,56	282,6 0,01	2.HS/0,61
	a_o	0,005	0,0005	0,0005				0,0007	0,0001	0,0001			
2	f_R	66,7	31,9	7,6	1401,4 0,12	509,6 0,04	2.HS SP/0,13 3.HS SP/0,22	66,6	31,8	7,6	1399 0,04	508,7 0,05	2.HS SP/0,17 3.HS SP/0,23 4.HS SP/0,43
	a_o	0,001	0,0006	0,0003				0,002	0,001	0,0009			
3	f_R	66,6	48	11,5	2065,1 0,16	768,4 0,07	2.HS SP/0,43	66,6	48	11,5	2064,1 0,54	768 0,1	2.HS SP/0,32
	a_o	0,001	0,0002	0,0002				0,003	0,0009	0,0001			
4	f_R	63,2	61,6	14,7	2467,4 0,038	986,9 0,04	2.HS SP/0,34	63,2	61,7	14,7	2467,4 0,13	986,9 0,1	2.HS SP/0,61
	a_o	0,0008	0,0005	0,0001				0,002	0,003	0,0009			
5	f_R	63,4	74,5	17,8	2983,7 0,17	1193,5 0,21	2.HS SP/0,31	63,3	74,3	17,8	2978,8 0,29	1189,1 0,17	2.HS/0,3
	a_o	0,005	0,001	0,0008				0,007	0,0008	0,001			

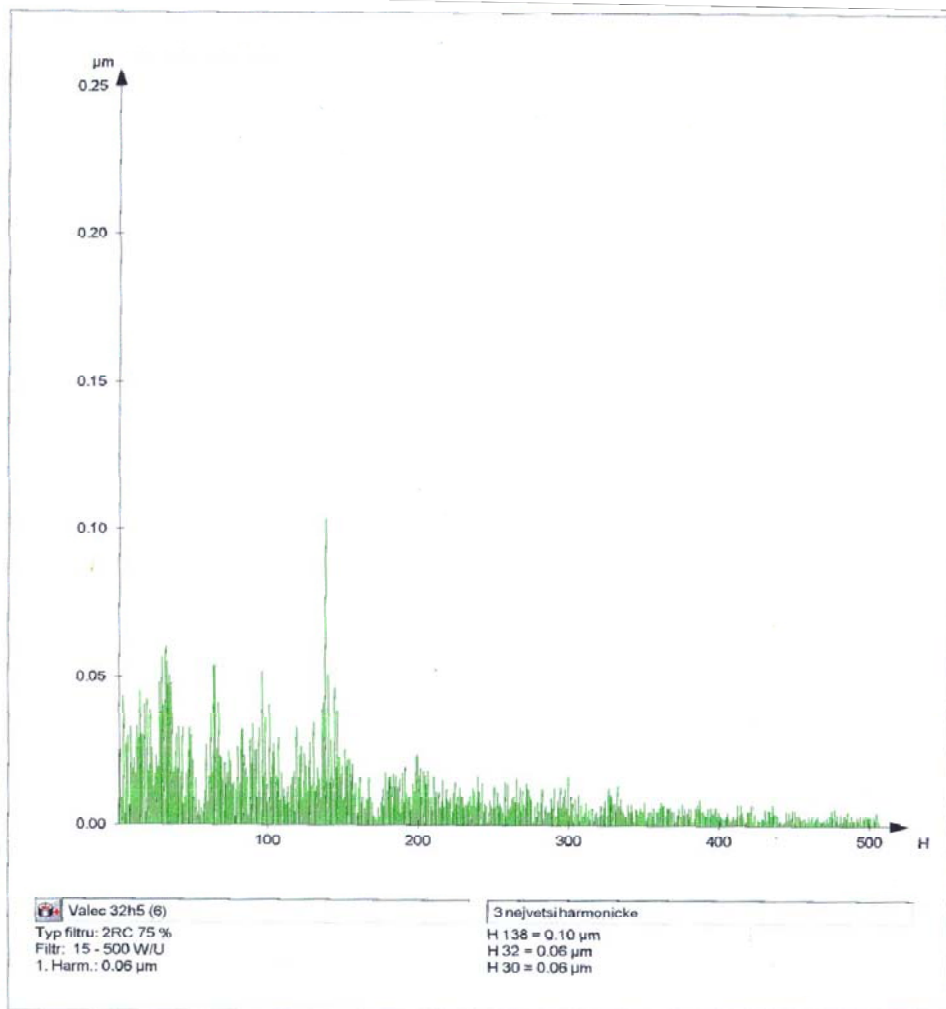
Příloha č.2 Superfinišovaný pastorek – frekvenční analýza z 15.4.2010 analyzátořem MICROLOG




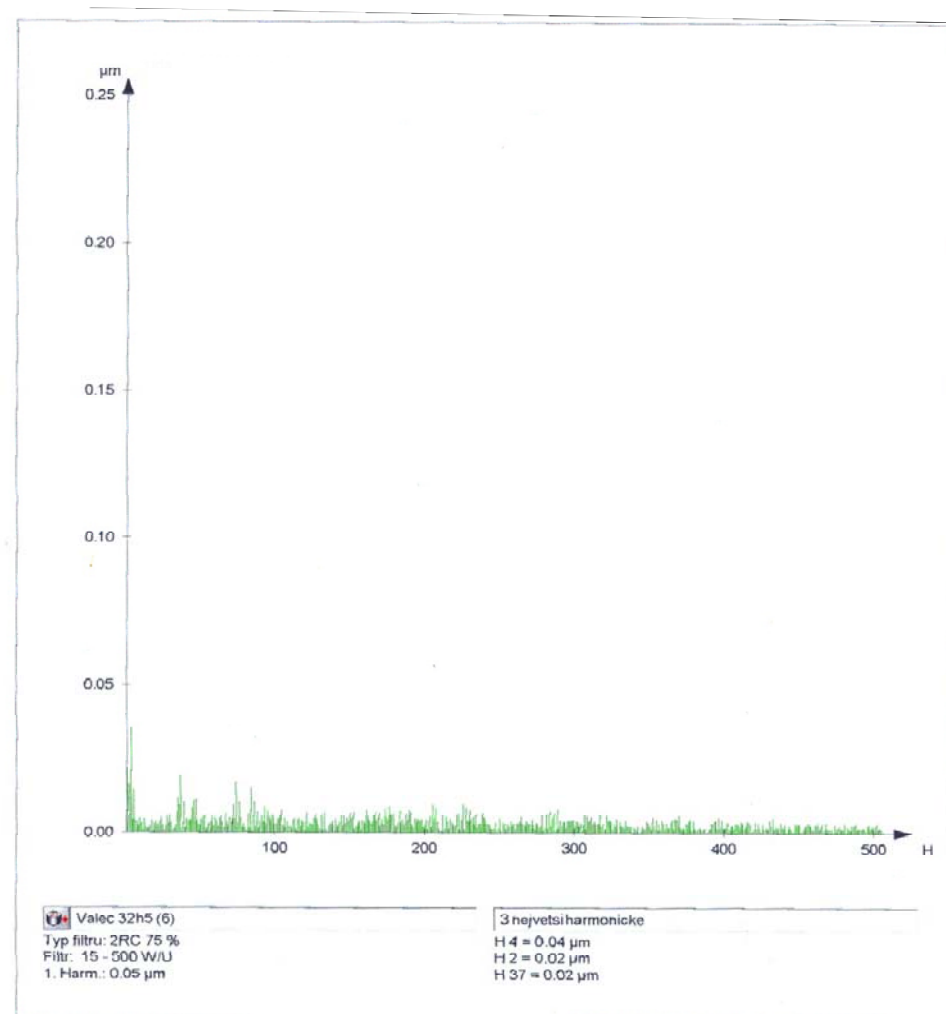
Dodavatel/Zákazník ŠKODA AUTO a.s.	Merící program Pastorek	
Označení mer.dílu / 02T 311 205 /	Číslo měřeného dílu 205	
Číslo výkresu	Číslo kal.normálu	
Merící přístroj FORM 4004	Pracovník KANKOVA	SW-Version V5.16.0200
Broušený pastorek		Datum 12.04.2010
		Uhrzeit 10:25:48


Dodavatel/Zákazník ŠKODA AUTO a.s.	Merící program Pastorek	
Označení mer.dílu / 02T 311 205 /	Číslo měřeného dílu 205	
Číslo výkresu	Číslo kal.normálu	
Merící přístroj FORM 4004	Pracovník KANKOVA	SW-Version V5.16.0200
Superfinišovaný pastorek		Datum 12.04.2010
		Uhrzeit 10:27:47

Příloha č. 3 Porovnání kruhovitosti

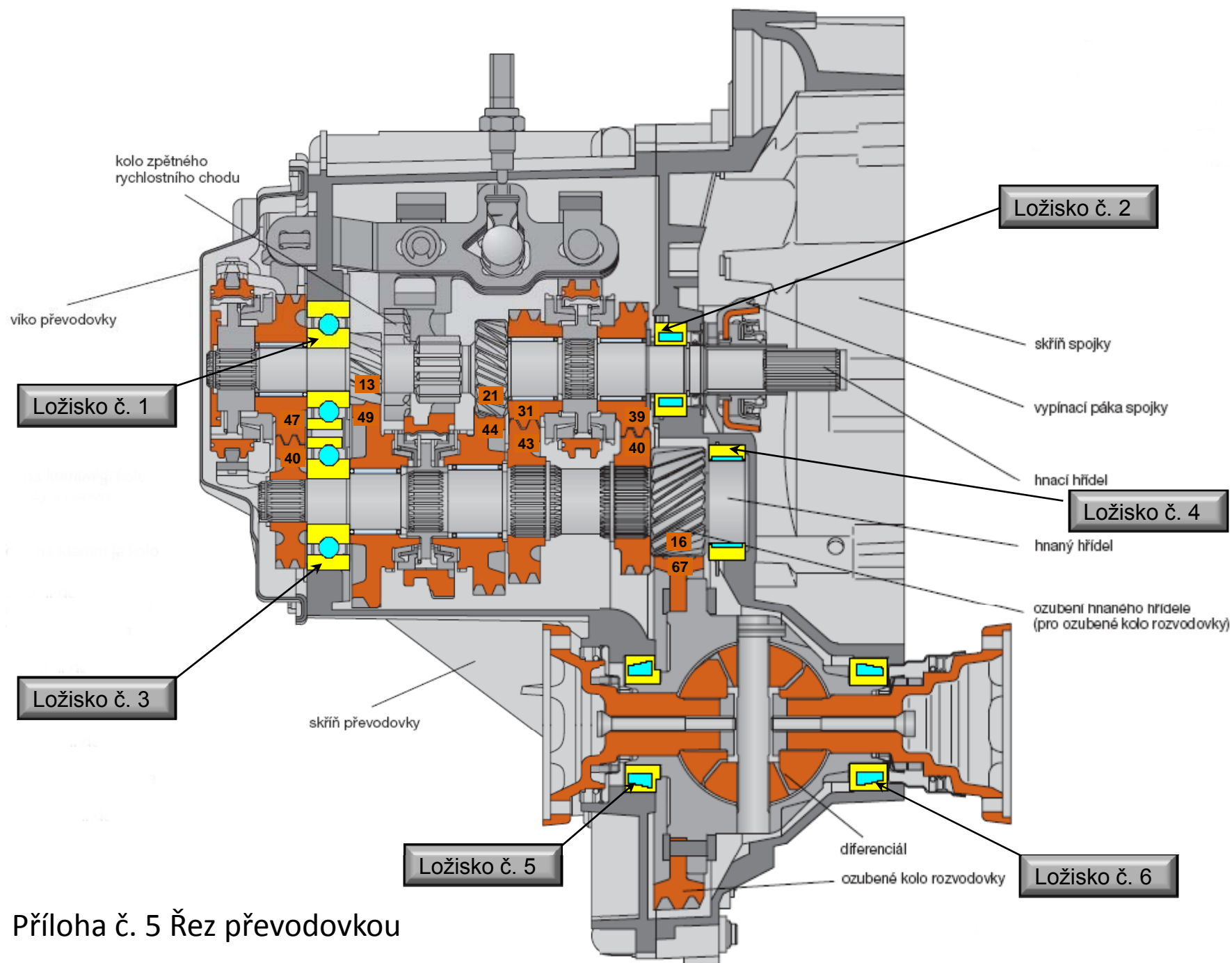


Dodavatel/Zákazník ŠKODA AUTO a.s.	Meríci program Pastorek	
Oznacení mer.dílu / 02T 311 205 /	Číslo mereného dílu 205	
Číslo výkresu	Číslo kal.normálu	
Meríci přístroj FORM 4004	Pracovník KANKOVA	SW-Version V5.16.0200
Broušený pastorek		Datum 12.04.2010
		Uhrzeit 11:04:47



Dodavatel/Zákazník ŠKODA AUTO a.s.	Meríci program Pastorek	
Oznacení mer.dílu / 02T 311 205 /	Číslo mereného dílu 205	
Číslo výkresu	Číslo kal.normálu	
Meríci přístroj FORM 4004	Pracovník KANKOVA	SW-Version V5.16.0200
Superfinišovaný pastorek		Datum 12.04.2010
		Uhrzeit 11:06:51

Příloha č. 4 Porovnání Fourierových spekter



Příloha č. 5 Řez převodovkou